

**PENGARUH KONSENTRASI DAN JENIS AKTIVATOR
TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF MIKROALGA
CHLORELLA VULGARIS DENGAN AKTIVASI KIMIA
MENGUNAKAN IRADIASI GELOMBANG MIKRO**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Magister
Program Studi Keteknikan Pertanian**



Oleh:

AGUNG SUKOYO

166100300111022

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2019

**PENGARUH RASIO DAN JENIS AKTIVATOR TERHADAP
KARAKTERISTIK KARBON AKTIF MIKROALGA
CHLORELLA VULGARIS DENGAN AKTIVASI KIMIA
MENGUNAKAN IRADIASI GELOMBANG MIKRO**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister
Program Studi Keteknikan Pertanian**



AGUNG SUKOYO

166100300111022

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2019

LEMBAR PERSETUJUAN

TESIS

PENGARUH RASIO DAN JENIS AKTIVATOR TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF MIKROALGA *CHLORELLA VULGARIS* DENGAN METODE AKTIVASI KIMIA MENGGUNAKAN IRADIASI GELOMBANG MIKRO

Oleh :

Agung Sukoyo

8 Januari 2019

Dr. Yusuf Wibisono, STP, M.Sc.
Ketua

Dr. Ir. Gunomo Djoyowasito, MS.
Anggota

Malang,

Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Brawijaya
Dekan

Dr. Ir. Sudarminto Setyo Yuwono, M.App.Sc
NIP. 19631216 198803 1 002

orisinalitas



IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL TESIS

Pengaruh Rasio dan Jenis Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan Metode Aktivasi Kimia menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro

Nama : Agung Sukoyo
NIM : 166100300111022
Program Studi : Keteknikan Pertanian
Minat : Mesin Agro Biosistem

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Yusuf Wibisono, STP, M.Sc, PhD
Anggota : Dr. Ir. Gunomo Djoyowasito, MS.

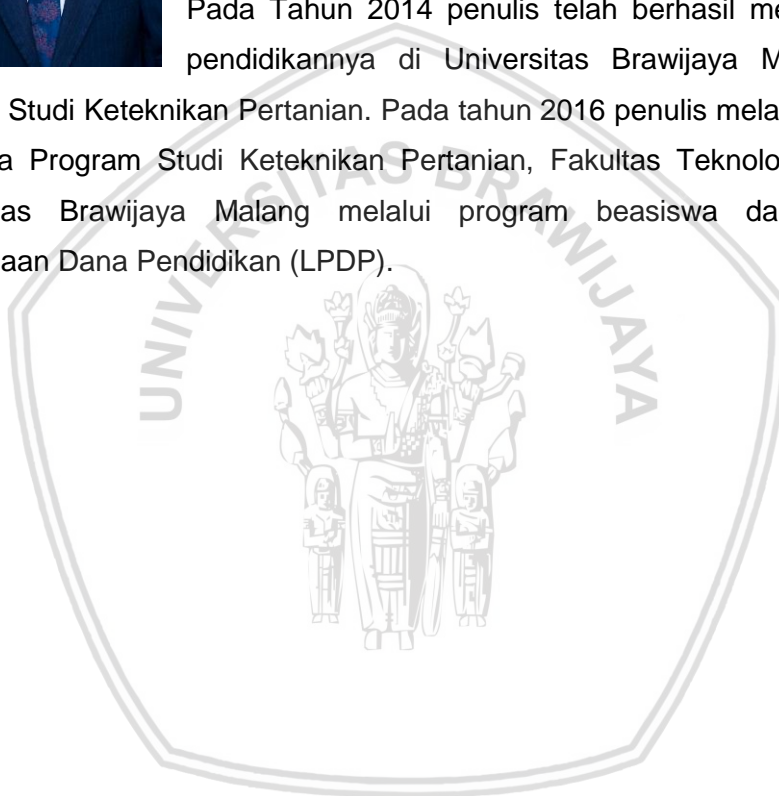
KOMISI PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Ir. Sandra Malin Sutan, MP
Dosen Penguji II : Fajri Anugroho, STP, M.Agr, PhD
Tanggal Ujian : 8 Januari 2019

BIODATA SINGKAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Agung sukoyo dilahirkan di Kediri pada tanggal 14 April 1992. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Mojosari II pada tahun 2004. Penulis menyelesaikan pendidikan di SMPN 2 Kras pada tahun 2007, dan SMAN 7 Malang pada tahun 2010. Pada Tahun 2014 penulis telah berhasil menyelesaikan pendidikannya di Universitas Brawijaya Malang pada Program Studi Keteknikan Pertanian. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan studi S-2 pada Program Studi Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang melalui program beasiswa dari Lembaga Pengelolaan Dana Pendidikan (LPDP).



Agung Sukoyo. 166100300111022. Pengaruh Rasio dan Jenis Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan Metode Aktivasi Kimia menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro

Pembimbing : 1. Yusuf Wibisono, STP, M.Sc, PhD.

2. Dr. Ir. Gunomo Djoyowasito, MS.

RINGKASAN

Mikroalga *Chlorella vulgaris* telah digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis serbuk karbon aktif. Mikroalga kering dikarbonisasi pada suhu 500°C selama 30 menit dengan laju kenaikan temperatur 10°C per menit untuk mendapatkan arang mikroalga. Kombinasi perlakuan aktivasi kimia menggunakan KOH, H₃PO₄ dan ZnCl₂ dengan konsentrasi 10, 30, dan 50% dibantu oleh iradiasi gelombang mikro telah digunakan untuk membuat karbon aktif. Sifat-sifat karbon aktif dianalisis meliputi hasil rendemen, kadar abu, kandungan zat volatil, kandungan karbon aktif murni, daya serap larutan iodin, luas permukaan BET, dan pencitraan karbon aktif menggunakan SEM- EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroalga *Chlorella vulgaris* memiliki kandungan unsur karbon 16,09% yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku karbon aktif. Aktivasi yang dilakukan mampu menurunkan kandungan kadar abu dibandingkan dengan arang mikroalga tanpa perlakuan, kadar zat teruap cenderung lebih tinggi diduga karena pori-pori karbon ditempati oleh zat volatile, kadar karbon secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan arang mikroalga tanpa perlakuan dengan hasil terbaik menggunakan aktivator asam. Karakteristik perlakuan terbaik pada rendemen diperoleh dengan aktivasi menggunakan ZnCl₂ dengan nilai rendemen 66.51%, kadar abu terendah diperoleh dengan aktivasi menggunakan H₃PO₄ 30% dengan nilai kadar abu 11.19%, kadar zat teruap terendah diperoleh dengan aktivasi menggunakan H₃PO₄ 10% dengan nilai kadar zat teruap 19.79%, kandungan karbon aktif murni tertinggi dan daya serap iodin diperoleh dengan aktivasi menggunakan H₃PO₄ 50% dengan kandungan karbon aktif murni 56.66%, dan daya serap iodin 330.39 mg/g hasil pengujian luas permukaan BET pada perlakuan yang memiliki daya serap iodin tertinggi menunjukkan luas permukaan 109.273 m²/g dan rerata diameter pori 5.50 nm. Hasil pencitraan SEM EDX menunjukkan pembentukan pori pada permukaan karbon aktif, dengan unsur karbon mencapai 72.31%.

Kata kunci: karbon aktif, mikroalga, *Chlorella vulgaris*, iradiasi gelombang mikro, KOH, H₃PO₄, ZnCl₂

Agung Sukoyo. 166100300111022. *The Effect of Concentration and Activating Agent Type on Characteristics of Activated Carbon Prepared from Microalgae Chlorella Vulgaris using Chemical Activation Assisted by Microwave Irradiation.*

**Supervisor : 1. Yusuf Wibisono, STP, M.Sc, PhD
2. Dr. Ir. Gunomo Djoyowasito, MS.**

SUMMARY

Microalgae Chlorella vulgaris has been used as a raw material in the synthesis of activated carbon powder. Dry microalgae is carbonized at a temperature of 500°C for 30 minutes to obtain microalgae charcoal. The combination of chemical activation treatments using KOH, H₃PO₄ and ZnCl₂ with concentrations of 10, 30, and 50% assisted by microwave irradiation has been used to prepare activated carbon. The properties of activated carbon were analyzed included yield, ash content, volatile substance content, pure activated carbon content, iodine solution absorbency, BET surface area and activated carbon imaging using SEM EDX. The results showed that Chlorella vulgaris microalgae has a carbon element content of 16.09% which has the potential to be used as an activated carbon feedstock. Activation carried out was able to reduce the content of ash compared to microalgae charcoal without treatment, the level of volatile substances tends to be higher because the pores of carbon are occupied by volatile substances. The best treatment characteristics in the yield were obtained by activation using ZnCl₂ with a yield value of 66.51%, the lowest ash content was obtained by activating using 30% H₃PO₄ with ash content of 11.19%, the lowest level of volatile substances obtained by activation using 10% H₃PO₄ with volatile substance values 19.79 %, the highest pure activated carbon content and iodine absorption was obtained by activating using 50% H₃PO₄ with 56.66% pure activated carbon content, and iodine absorption capacity of 330.39 mg / g as a result of testing BET surface area in the treatment which had the highest iodine absorption capacity showing surface area 109,273 m² / g and the average pore diameter is 5.50 nm. SEM EDX imaging results show pore formation on the surface of activated carbon, with carbon elements reaching 72.31%.

Keywords: activated carbon, microalgae, Chlorella vulgaris, microwave irradiation, KOH, H₃PO₄, ZnCl₂

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Pengaruh Rasio dan Jenis Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan Metode Aktivasi Kimia menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro”. Pada penulisan tugas akhir ini penulis mendapat banyak bimbingan, masukan, dan semangat, maka penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Yusuf Wibisono STP, MSc, Ph.D dan Dr. Ir. Gunomo Djoyowasito, MS selaku dosen pembimbing serta Dr. Ir. Sandra Malin Sutan, MP dan Fajri Anugroho, STP, M.Agr, PhD selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis.
2. Orang Tua dan keluarga besar penulis yang selalu memberikan motivasi, semangat dan mendoakan.
3. Teman – teman Pascasarjana Keteknikan Pertanian dan semua sahabat yang senantiasa membantu dan memotivasi dalam penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir (Tesis) ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk menyempurnakan Tesis ini.

Malang, 8 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS.....	iii
IDENTITAS PENGUJI	iv
BIODATA SINGKAT PENULIS	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mikroalga	5
2.1.1 Fase Pertumbuhan Mikroalga	5
2.2 <i>Chlorella Vulgaris</i>	7
2.2.1. Morfologi <i>Chlorella vulgaris</i>	7
2.3 Karbon Aktif	9
2.4 Proses Pembuatan Karbon Aktif	12
2.4.1 Dehidrasi.....	12
2.4.2 Karbonisasi/ Pirolisis	12
2.4.3 Aktivasi	13
2.4.3.1 Aktivasi Fisika.....	13
2.4.3.2 Aktivasi Kimia	13
2.4.3.3 Aktivasi Kimia Fisika.....	14
2.4.3.4 Aktivasi dengan Microwave	14
2.5 Aktivator agent	17
2.5.1 Kalium Hidroksida (KOH)	17
2.5.2 Asam Fosfat (H ₃ PO ₄)	19

2.5.3 Seng Klorida ($ZnCl_2$)	21
2.6 Manfaat Karbon Aktif	22
2.7 Adsorben	22
2.8 Adsorpsi	23
III. KERANGKA KONSEP PENELITIAN	25
3.1 Kerangka Fikir	25
3.2 Hipotesis	27
IV. METODE PENELITIAN	28
4.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	28
4.1.1 Tempat Pelaksanaan	28
4.1.2 Waktu Pelaksanaan	28
4.2 Alat dan Bahan	28
4.2.1 Alat	28
4.2.2 Bahan	29
4.3 Metode Penelitian	30
4.3.1 Penelitian Tahap I	30
4.3.2 Penelitian Tahap II	32
4.4 Analisis Data	33
V. PEMBAHASAN	34
5.1 Karakteristik Biomassa Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	34
5.2 Karakteristik Arang Biomassa Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	35
5.3 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Rendemen Karbon Aktif Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	37
5.4 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Kadar Abu Karbon Aktif Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	39
5.5 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Kadar Zat Teruap Karbon Aktif Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	43
5.6 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Kadar Karbon Aktif Murni Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	45
5.7 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Daya Serap Larutan Iodin Karbon Aktif Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	48
5.8 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Luas Permukaan BET Karbon Aktif Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	40
5.9 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Struktur Pori dan Komposisi Unsur Karbon Aktif Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	52

V. KESIMPULAN DAN SARAN	57
6.1 Kesimpulan	57
6.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
DAFTAR LAMPIRAN	65



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
2.1	Kualitas karbon aktif menurut SNI 1995	10
2.2	Metode aktivasi yang digunakan pada bahan lignoselulosa	16
4.1	Rancangan variasi percobaan	32
5.1	Kandungan unsur mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	34
5.2	Kandungan unsur arang mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	35
5.3	Rerata nilai rendemen berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator	39
5.4	Rerata nilai kadar abu berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator	41
5.5	Rerata nilai kadar zat teruap berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator ...	44
5.6	Rerata nilai kadar karbon aktif murni berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator	47
5.7	Rerata nilai daya serap terhadap larutan iodin karbon aktif mikroalga berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator	49
5.8	Karakteristik karbon aktif mikroalga berdasarkan luas BET, diameter pori, dan volume pori	50
5.9	Perbandingan komposisi unsur serbuk mikroalga, arang mikroalga, karbon aktif mikroalga hasil aktivasi, dan karbon komersial	55

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
2.1	Fase pertumbuhan mikroalga	6
2.2	Electron micrograph dari sel <i>Chlorella vulgaris</i> pada bagian longitudinal	8
2.3	Karbon Aktif	10
2.4	Mekanisme pemanasan dengan menggunakan gelombang mikro.....	16
2.5	Mekanisme reaksi KOH dalam menghasilkan pori karbon aktif	19
2.6	Mekanisme reaksi H_3PO_4 dalam menghasilkan pori karbon aktif	20
2.7	Mekanisme reaksi $ZnCl_2$ dalam menghasilkan pori karbon aktif	22
2.8	Aplikasi karbon aktif dari berbagai penelitian	24
3.1	Kerangka Konsep penelitian	27
4.1	Diagram alir pembuatan arang mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	31
4.2	Proses aktivasi dan pengujian karbon aktif <i>Chlorella vulgaris</i>	33
5.1	Grafik nilai rendemen arang aktif mikroalga setelah proses aktivasi.	38
5.2	Grafik nilai kadar abu karbon aktif mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	40
5.3	Grafik nilai kadar zat teruap karbon aktif mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	43
5.4	Grafik nilai kadar karbon aktif murni mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	45
5.5	Grafik nilai daya serap larutan iodin karbon aktif mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	48
5.6	Citra hasil SEM-EDX	53

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
Lampiran 1. Prosedur Pengujian		65
Lampiran 1.1 Pengujian Kadar Abu SNI 1995		65
Lampiran 1.2 Pengujian Kadar Zat Teruap SNI 1995		65
Lampiran 1.3 Pengujian Kadar Karbon Aktif Murni SNI 1995.....		66
Lampiran 1.4 Pengujian Daya Serap Iodin SNI 1995		66
Lampiran 2. Data Hasil Pengujian		67
Lampiran 2.1 Data Hasil Pengujian Rendemen		67
Lampiran 2.2 Data Hasil Pengujian Kadar Abu.....		68
Lampiran 2.3 Data Hasil Pengujian Kadar Zat Teruap.....		69
Lampiran 2.4 Data Hasil Pengujian Kadar Karbon Aktif Murni		70
Lampiran 2.5 Data Hasil Pengujian Daya Serap Iodin		71
Lampiran 3. Data Pengujian ANOVA dan DMRT		73
Lampiran 3.1 Data pengujian ANOVA dan DMRT rendemen karbon aktif		73
Lampiran 3.2 Data pengujian ANOVA dan DMRT kadar abu.....		78
Lampiran 3.3 Data pengujian ANOVA dan DMRT zat teruap.....		84
Lampiran 3.4 Data pengujian ANOVA dan DMRT karbon terikat.....		90
Lampiran 3.5 Data pengujian ANOVA dan DMRT daya serap iodin		96
Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian		102
Lampiran 5.1 Dokumentasi proses preparasi bahan baku		102
Lampiran 5.2 Dokumentasi proses karbonisasi		102
Lampiran 5.3 Dokumentasi proses aktivasi		103
Lampiran 5.4 Dokumentasi proses pengujian kadar abu dan kadar zat teruap		105
Lampiran 5.5 Dokumentasi proses pengujian daya serap iodin		105
Lampiran 5.6 Dokumentasi proses pengujian SEM-EDX.....		106
Lampiran 5.7 Dokumentasi proses pengujian luas permukaan BET		106

I. PENDAHULUAN

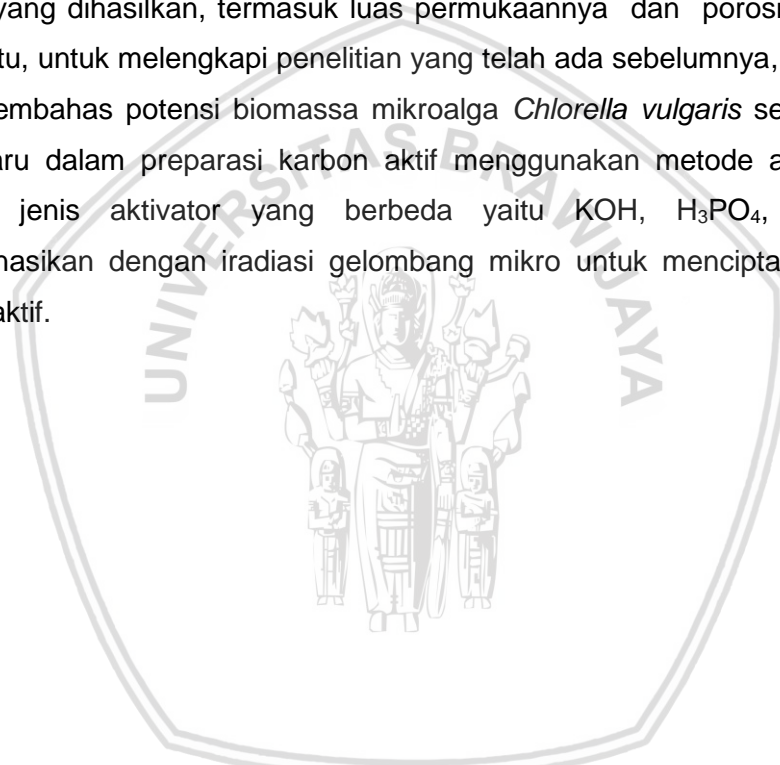
1.1 Latar Belakang

Biomassa terbarukan telah menjadi bahan baku penting dan potensial untuk diteliti lebih lanjut dan dikembangkan. Transisi untuk kembali pada pemanfaatan biomassa terbarukan disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya penurunan kualitas lingkungan, krisis energi, pangan dan sumber air bersih. Berkaitan dengan hal ini salah satu sumber biomassa yang banyak menjadi sorotan adalah biomassa mikroalga, mikroalga telah mendapat banyak perhatian karena organisme fotosintesis mikroskopis ini merupakan sumber biomassa yang menjanjikan dan memiliki beberapa keunggulan dibanding tanaman berbasis lahan.

Mikroalga adalah organisme fotosintesis yang paling cepat berkembang, selain mengonsumsi senyawa CO_2 dan unsur N mikroalga juga merupakan salah satu produsen oksigen terpenting di bumi. Bila dibandingkan dengan tanaman terestrial, mikroalga memiliki aktivitas fotosintesis yang lebih tinggi, tingkat pertumbuhan lebih cepat dan efisiensi fiksasi CO_2 yang lebih baik, yaitu sekitar 10-50 kali. Mikroalga mengandung hampir 50% karbon dengan basis berat kering, dan secara teoritis, setiap 1 kg biomassa alga kering dapat menyerap sekitar 1,83 kg CO_2 . Lebih dari itu, biomassa mikroalga pada umumnya mengandung komponen penting seperti protein, lipid, karbohidrat dan mineral. Biomassa mikroalga mengandung proporsi protein yang bervariasi (6-52%), karbohidrat (5-23%) dan lipid (7-23%).

Mengacu pada potensi biomassa mikroalga yang banyak mengandung unsur potensial dan dapat dikembangkan dengan cepat, membuat mikroalga menjadi bahan baku potensial yang dapat diaplikasikan sebagai sumber pangan bernutrisi, perawatan kesehatan, biofuel, pakan hewan / akuakultur, pigmen, dan kosmetik. Penelitian terbaru seputar pemanfaatan biomassa mikroalga juga berfokus pada pemanfaatan biomassa mikroalga untuk produksi biohidrogen, biogas (metana), *bio-crude* dan *biochar* dengan proses fermentasi, proses anaerobik, pencairan maupun pirolisis. Dengan melihat kandungan potensial yang dimiliki mikroalga dimungkinkan masih banyak penelitian yang bisa diperdalam terkait pemanfaatan potensi biomassa mikroalga.

Diantara potensi yang mungkin dikembangkan dari biomassa mikroalga diantaranya adalah dengan mengkonversi biomassa menjadi karbon aktif. Penelitian tentang pembuatan karbon aktif mikroalga masih jarang ditemukan di berbagai literatur baik yang menggunakan mikroalga murni hasil produksi massal dalam kolam terbuka maupun dalam fotobioreaktor, ataupun yang menggunakan biomassa pasca ekstraksi lipid. Dalam proses pembuatan karbon aktif, pemilihan bahan baku, kondisi aktivasi seperti metode aktivasi, agen pengaktif, dan waktu aktifasi merupakan parameter penting yang mempengaruhi sifat fisik dan kimia karbon yang dihasilkan, termasuk luas permukaannya dan porositasnya. Oleh karena itu, untuk melengkapi penelitian yang telah ada sebelumnya, penelitian ini akan membahas potensi biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris* sebagai bahan baku baru dalam preparasi karbon aktif menggunakan metode aktivasi kimia dengan jenis aktivator yang berbeda yaitu KOH, H₃PO₄, dan ZnCl₂ dikombinasikan dengan iradiasi gelombang mikro untuk menciptakan pori-pori karbon aktif.



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari penelitian ini dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh metode aktivasi, rasio dan jenis aktivator KOH, H_3PO_4 , dan $ZnCl_2$ terhadap kadar abu, kadar zat teruap, dan kadar karbon aktif murni *Chlorella vulgaris* ?
2. Bagaimana pengaruh metode aktivasi, rasio dan jenis aktivator KOH, H_3PO_4 , dan $ZnCl_2$ terhadap daya serap larutan iodin dan luas permukaan karbon aktif *Chlorella vulgaris* ?
3. Bagaimana pengaruh metode aktivasi, rasio dan jenis aktivator KOH, H_3PO_4 , dan $ZnCl_2$ terhadap struktur dan komponen penyusun karbon aktif *Chlorella vulgaris* ?
4. Bagaimana potensi biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris* sebagai sumber daya dalam pembuatan karbon aktif ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini meliputi:

1. Menganalisis pengaruh metode aktivasi, rasio dan jenis aktivator KOH, H_3PO_4 , dan $ZnCl_2$ terhadap kadar abu, kadar zat teruap, dan kadar karbon aktif murni *Chlorella vulgaris*.
2. Menganalisis pengaruh metode aktivasi, rasio dan jenis aktivator KOH, H_3PO_4 , dan $ZnCl_2$ terhadap daya serap larutan iodin dan luas permukaan karbon aktif *Chlorella vulgaris* ?
3. Menganalisis pengaruh metode aktivasi, rasio dan jenis aktivator KOH, H_3PO_4 , dan $ZnCl_2$ terhadap struktur dan komponen penyusun karbon aktif *Chlorella vulgaris*.
5. Menganalisis potensi mikroalga *Chlorella vulgaris* sebagai sumber daya dalam pembuatan karbon aktif

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian pembuatan karbon aktif dari mikrolga *Chlorella vulgaris* adalah.

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai proses pembuatan karbon aktif dari mikrolga *Chlorella vulgaris* dengan menggunakan aktivasi kimia menggunakan iradiasi gelombang mikro, serta potensi biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris* sebagai bahan baku karbon aktif .
2. Memberikan pengetahuan dan informasi ilmiah mengenai pengaruh rasio dan jenis aktivator terhadap kadar abu, kadar zat teruap, kadar karbon aktif murni, daya serap larutan iodin, dan perhitungan luas permukaan karbon aktif *Chlorella vulgaris* menggunakan metode BET.
3. Memberikan informasi ilmiah mengenai karakteristik karbon aktif mikrolga *Chlorella vulgaris* terhadap pencitraan SEM serta kandungan penyusunnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini digunakan untuk mengarahkan penelitian agar berjalan dengan baik dan benar, serta tidak melebar dari topik pembahasan. Adapun batasan-batasan masalah tersebut antara lain:

1. Mikrolga yang digunakan adalah spesies *Chlorella vulgaris* yang diperoleh dari Balai Perikanan dan Budidaya Air Payau, Situbondo– Jawa Timur.
2. Karakterisasi karbon aktif yang dilakukan meliputi pengukuran kadar abu, kadar zat teruap, kadar karbon aktif murni, daya serap iodin dan perhitungan luas permukaan BET.
3. Tidak membahas analisis energi dan ekonomi dari proses pembuatan karbon aktif.
4. Tidak dilakukan penelitian terhadap waktu optimal dalam proses karbonisasi dan aktivasi kimia.
5. Menggunakan metode aktivasi kimia menggunakan iradiasi gelombang mikro dengan aktivator yang digunakan adalah KOH, H₃PO₄, dan ZnCl₂.
6. Analisis karakteristik pencitraan SEM-EDX dan luas permukaan BET berdasarkan variasi dan jenis aktivator yang terbaik pada setiap perlakuan.

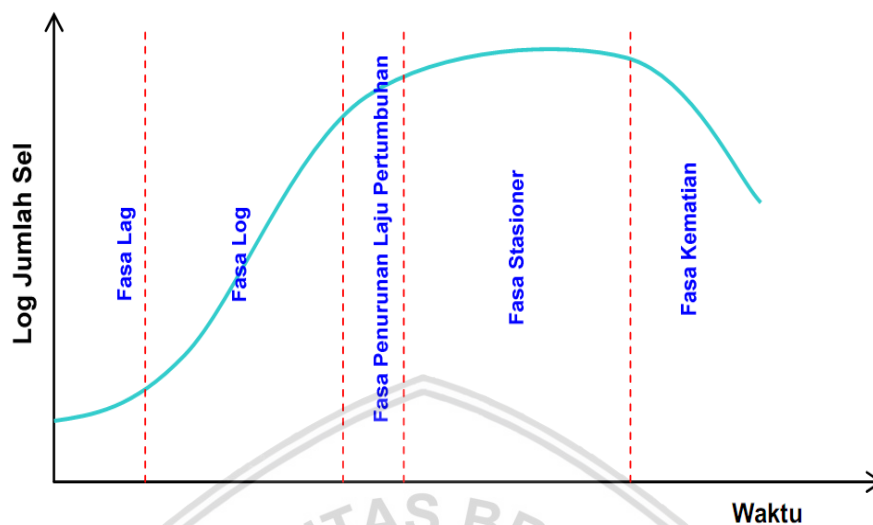
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroalga

Mikroalga merupakan salah satu mikroorganisme fotosintetik yang memiliki sel tunggal (Damirbas, 2010), maupun multisel dengan struktur sederhana maupun kompleks (Mata *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2011) yang banyak dikembangkan sebagai solusi atas terjadinya pemanasan global, kelangkaan energi dan pencemaran lingkungan. Mikroalga memiliki kemampuan fotosintesis yang baik sehingga dapat mengkonversi karbon dioksida, air dan sinar matahari menjadi biomassa potensial. Mikroalga dapat tumbuh secara cepat pada lingkungan air laut, tawar maupun perairan payau. Mikroalga memiliki banyak kandungan biomolekul yang dapat digunakan sebagai sumber biomassa ramah lingkungan dan ekonomis di berbagai bidang termasuk nanoteknologi. Biomassa mikroalga memiliki kandungan potensial seperti protein, lipid, karbohidrat, dan mineral yang membuatnya dapat diaplikasikan sebagai bahan baku untuk makanan, perawatan kesehatan, biofuel, pakan hewan / akuakultur, pigmen, dan kosmetik (Spolaore *et al.*, 2006; Williams dan Laurens, 2010). Biomassa mikroalga secara umum mengandung komponen potensial yang bervariasi diantaranya adalah protein (6-52%), karbohidrat (5-23%) dan lipid (7-23%) (Brown *et al.*, 1997).

2.1.1 Fase Pertumbuhan Mikroalga

Mikroalga sebagaimana mikroorganisme fotosintetik pada umumnya tumbuh dalam lima fase pertumbuhan. Menurut (Duta, 2008), fase pertumbuhan tersebut adalah seperti pada Gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1. Fase pertumbuhan mikroalga (Dutta, 2008).

- a. **Fase tunda (*lag phase*)** : *Lag phase* merupakan fase paling awal setelah tahapan pemberian inokulum. Pada fase ini mikroalga melakukan fase adaptasi dengan lingkungan yang baru sebelum memulai fase pertumbuhan. Pada fase ini perubahan jumlah sel mikroalga adalah nol.
- b. **Fase Pertumbuhan Logaritmik (*log phase*)** : Pada fase ini, sel-sel melakukan pembelahan secara cepat dengan kecepatan konstan sampai menuju ke nilai maksimum.
- c. **Fase Penurunan Laju Pertumbuhan** : Pada fase ini masih terjadi penambahan jumlah sel, namun dengan laju pertumbuhan yang menurun. Hal ini terjadi karena kompetisi yang tinggi di dalam medium kultur akibat nutrisi yang tersedia tidak sebanding dengan jumlah populasi mikroalga yang sangat tinggi pasca fase logaritmik.
- d. **Fase Stasioner** : Pada fase ini, jumlah sel menjadi konstan. Hal ini disebabkan oleh habisnya nutrisi atau menumpuknya hasil metabolisme dalam media pertumbuhan sehingga mengakibatkan pertumbuhan terhenti.
- e. **Fase Kematian** : Pada fase ini, jumlah populasi mikroalga mengalami penurunan, jumlah sel yang mati per satuan waktu semakin bertambah sampai akhirnya kematian sel menjadi konstan.

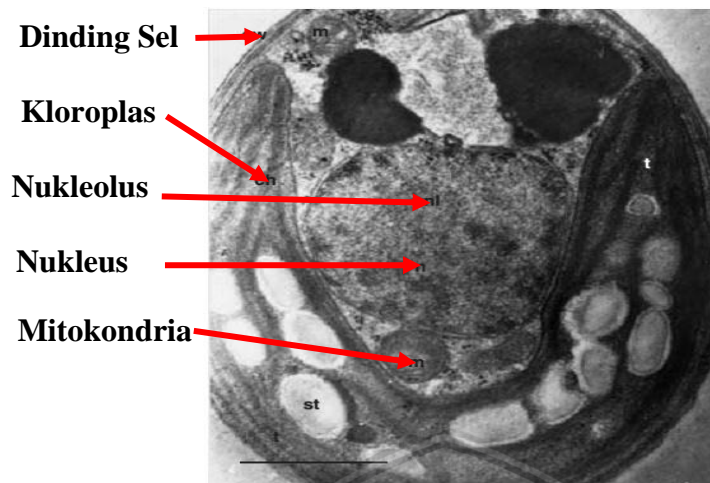
2.2 *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris merupakan mikroalga yang tergolong sebagai alga hijau (*Chlorophyta*) dengan bentuk tubuh bulat, bulat lonjong, memiliki diameter antara 2 – 8 mm. *Chlorella vulgaris* pada umumnya hidup berkoloni dalam jumlah besar. *Chlorella* adalah salah satu mikroalga yang terkenal karena dicirikan oleh tingkat pertumbuhan yang cepat (Schenk *et al.*, 2008), kandungan lipid yang tinggi (Hu *et al.*, 2008) dan potensi penggunaan nutrisi yang efisien (Aslan dan Kapdan, 2006; Kim *et al.*, 2010). *Chlorella vulgaris* juga merupakan salah satu dari delapan mikroalga paling toleran (Abdel-Raouf *et al.*, 2012) dan sangat toleran terhadap senyawa organik terlarut yang membuatnya mudah untuk dibudidayakan (Kumar *et al.*, 2010). Spesies ini dapat menurunkan senyawa organik tunggal (Sahinkaya dan Dilek, 2009) dan dapat digunakan untuk memurnikan limbah cair secara efisien (Wang *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2010). *Chlorella vulgaris* dapat ditemukan terutama pada tempat lembab dan berair. Berdasarkan taksonominya, *Chlorella vulgaris* memiliki klasifikasi sebagai berikut :

Kingdom	: Viridiplantae
Subkingdom	: Phycobionta
Filum	: Chlorophyta
Kelas	: Trebouxiophyceae
Ordo	: Chlorellales
Famili	: Chlorellaceae
Genus	: Chlorella
Spesies	: <i>Chlorella vulgaris</i>

2.2.1. Morfologi *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris adalah organisme bersel tunggal atau *uniselular*. Struktur sel dari *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2. *Electron micrograph* dari sel *Chlorella vulgaris* pada bagian longitudinal (Richmond, 2004).

Secara umum bagian-bagian sel *Chlorella vulgaris* dapat dijelaskan sebagai berikut (Richmond, 2004):

- a. **Dinding Sel** : Dinding sel mikroalga kebanyakan tersusun dari selulosa. Dinding sel ini berfungsi sebagai pelindung bagian internal sel dari gangguan luar. Bagian ini juga mengandung serat yang menyebabkan mikroalga dapat dikonsumsi oleh manusia.
- b. **Kloroplast** : Kloroplast merupakan jaringan yang berbentuk seperti lonceng atau cangkir. Kloroplast terdiri dari lamella fotosintetik yang diselubungi oleh membran ganda. Bagian ini memainkan peranan penting dalam proses fiksasi CO_2 karena mengandung biomassa yang dapat menyerap energi cahaya untuk reaksi fotosintesis.
- c. **Inti Sel (nukleus)** : Inti sel merupakan sebuah struktur dengan ukuran besar yang dikelilingi oleh sitoplasma. Bagian ini memiliki peran penting sebagai pengatur seluruh aktivitas sel seperti fotosintesis dan berkembang biak.
- d. **Nukleolus** : *Nukleolus* adalah sebuah inti berukuran kecil yang tertetak didalam inti sel. *Nukleolus* merupakan anak inti sel yang tersusun dari sekumpulan *Ribo Nucleic Acid* (RNA), oleh karena itu *nucleolus* memiliki peranan penting dalam proses sintesis protein di dalam sel mikroalga.
- e. **Mitokondria** : Mitokondria merupakan organel sel yang sangat kompleks dan tersusun dari struktur-struktur berpola seperti cerutu. Komponen tersebut tersusun dari lipid dan protein yang dapat membentuk sel yang keras dan

stabil. Dinding mitokondria terdiri dari dua lapisan dan lapisan dalamnya terdapat banyak lekukan.

2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan karbon yang telah melalui proses aktivasi, berwarna hitam, tidak memiliki aroma dan rasa. Arang aktif memiliki bentuk amorf yang tersusun dari unsur karbon. Karbon ini tersusun dari kepingan dasar dimana atom karbonnya terikat secara kovalen heksagonal mirip dengan struktur grafit. Kepingan-kepingan ini membentuk kristal dengan susunan dan jaraknya tidak beraturan. Karbon aktif secara umum digunakan sebagai adsorben yang efisien untuk menghilangkan berbagai macam polutan. Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan karbon aktif baru dari sumber terbarukan seperti limbah agroindustri, dan proses sintesis yang baru (Liu *et al.*, 2016). Karbon aktif yang baik dapat dicirikan dengan luas area permukaan yang besar, sehingga dapat meningkatkan daya serap adsorpsi yang dimilikinya. Peningkatan daya adsorpsi karbon aktif dapat dilakukan melalui proses aktivasi, dimana aktivasi akan menyebabkan terbentuknya gugus aktif akibat interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan atom-atom oksigen dan nitrogen. Karbon aktif memiliki kandungan karbon tinggi (87-97%) dengan unsur lain seperti hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen yang terutama yang berasal dari bahan baku selama proses produksi. Komponen mineral anorganik lainnya dalam jumlah sekitar 1 - 20% dapat muncul dalam karbon aktif. Zat mineral ini sering diangkat sebagai abu. Kandungan abu karbon aktif komersial antara 0,1 - 0,2% (Bansal *et al.*, 1988; Jankowska *et al.*, 1991).



Gambar 2.3. Karbon aktif (Riadi, 2017)

Karbon aktif pada **Gambar 2.3** merupakan arang yang telah mengalami aktivasi, sehingga terjadi perubahan sifat fisika, kimia serta daya serap dan luas permukaannya juga akan meningkat. Kualitas karbon aktif dapat dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, teknologi pengolahan, dan ketetapan penggunaannya. Berdasarkan standar **SNI 06-3730-1995** kualitas karbon aktif harus memenuhi standar seperti pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Kualitas karbon aktif menurut SNI 1995

No	Uraian	Persyaratan Kualitas	
		Butiran	Serbuk
1	Kadar zat teruap (%) (komponen yang menguap pada temperatur 950°C)	Maks 15	Maks 25
2	Kadar abu, (%)	Maks 2,5	Maks 10
3	Kadar air, (%)	Maks 4,5	Maks 15
4	Bagian yang tidak mengarang	0	0
5	Karbon aktif murni, (%)	Min 80	Min 65
6	Daya serap terhadap I ₂ , mg/g	Min 750	Min 750
7	Daya serap terhadap benzen, (%)	Min 25	-
8	Kemampuan serap terhadap metilen blue, mg/g	Min 60	Min 120
9	Berat jenis curah, g/ml	0,46 – 0,55	0,3 – 0,35
10	Lolos mesh 325, (%)	-	Min 90
11	Jarak mesh, (%)	90	-
12	Kekerasan, (%)	80	-

Sumber: (SNI 06-3730-1995)

Jenis karbon aktif dapat diklasifikasikan dari bentuk fisik dan bahan baku pembuatannya sebagai berikut:

1. Berdasarkan bentuk fisik

Karbon aktif berdasarkan ukuran partikelnya terdiri dari tiga jenis, yaitu karbon aktif serbuk atau *Powdered Activated Carbon* (PAC), karbon aktif granular atau *Granular Activated Carbon* (GAC), dan *Extruded Activated Carbon* (EAC). Karbon aktif serbuk dengan ukuran $<0,18$ mm pada umumnya diaplikasikan dalam proses pengolahan limbah cair. Karbon aktif granular merupakan sebuah partikel dengan bentuk yang tidak seragam dengan ukuran berkisar 0,2 – 5 mm. Karbon aktif granular dapat diaplikasikan pada pengolahan limbah cair ataupun gas, sedangkan karbon aktif EAC berukuran 0,8 – 5 mm yang umumnya diaplikasikan pada adsorpsi gas (González-García, 2018).

2. Bahan pembuatan

Berkaitan dengan sumber bahan baku karbon aktif, sebenarnya telah banyak bahan baku yang telah dilaporkan dalam literatur ilmiah. Pemilihan prekursor untuk pengembangan karbon aktif berbiaya rendah bergantung pada beberapa faktor, diantaranya adalah tersedia secara bebas, murah, dan tidak berbahaya bagi alam. Diantara bahan baku tersebut adalah biomassa kayu, limbah pertanian, dan limbah biomassa industri. Bahan baku dalam proses pembuatan karbon aktif dipilih dari karakteristik fisikokimianya, metode preparasi yang digunakan, struktur nano-mikro, fitur tekstur, dan kemungkinan penerapannya. Aspek penting dalam pembuatan karbon aktif adalah penggunaan berbagai bagian tanaman termasuk batang, ranting, batok, kulit, serat, biji, sekam dan daun. Bahan utama yang terdapat pada bahan baku tersebut diantaranya adalah lignosellulosa, selulosa, hemisellulosa, lignin. Semakin tinggi kandungan komponen tersebut maka akan semakin meningkatkan kualitas karbon aktif (González-García, 2018). Selain itu, karbon dengan struktur nongrafitik juga dapat dengan mudah dibuat dari sumber organik seperti karbohidrat (Chun dan Whitacre, 2013).

2.4 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Proses pembuatan karbon aktif pada umumnya menggunakan metode yang beraneka ragam, namun pada dasarnya proses pembuatan karbon aktif dilakukan dalam tiga tahapan proses. Berikut adalah pemaparan proses pembuatan karbon aktif.

2.4.1 Dehidrasi

Proses dehidrasi dilakukan dengan cara memanaskan bahan baku dalam proses preparasi karbon aktif, yang bertujuan untuk menguapkan kandungan air dan menurunkan kelembaban pada bahan baku. Proses dehidrasi dilakukan dengan memanfaatkan panas matahari secara langsung maupun dengan menggunakan bantuan oven. Proses dehidrasi dapat dihentikan setelah tercapai bobot konstan. Proses dehidrasi berjalan pada rentang suhu 110 – 170°C (Muna, 2011).

2.4.2 Karbonisasi / Pirolisis

Karbonisasi merupakan suatu proses yang dilakukan sebelum aktivasi, dimana pada tahapan ini bahan baku mentah mengalami perlakuan termal (pirolisis) untuk memperkaya kandungan karbon (González *et al.*, 2013). Pada proses ini kelembapan dan molekul volatil rendah pertama kali akan dilepaskan. Produk yang dihasilkan adalah kerangka karbonat tetap. pembentukan karbon terjadi pada suhu 400 – 600°C (Susilowati, 2016). Lebih lanjut Daud, *et al.* (2000) menambahkan bahwa pada proses ini, porositas awal telah terbentuk meskipun masih relatif rendah. Pori-pori yang terbentuk selama karbonisasi memerlukan aktivasi untuk mengembangkan karakteristik karbon yang spesifik. Suhu karbonisasi memiliki efek yang paling signifikan, diikuti oleh laju pemanasan, keberadaan dan ketiadaan atmosfer inert dan lajunya, serta waktu tinggal pada proses pengarangan. Pada umumnya, suhu karbonisasi yang lebih tinggi dari 600°C menghasilkan penurunan hasil arang dari segi kuantitas sambil meningkatkan laju pelepasan cairan dan gas. Temperatur yang lebih tinggi juga akan meningkatkan abu dan kandungan karbon tetap dan menurunkan jumlah bahan yang mudah menguap. Dengan demikian, suhu tinggi menghasilkan arang kualitas yang lebih baik tetapi juga mengalami penurunan yield.

2.4.3 Aktivasi

Proses aktivasi merupakan proses penambahan aktivator pada karbon yang telah dibuat. Penambahan aktivator bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dengan cara membuka pori-pori karbon aktif. Proses ini dapat dilakukan dengan cara memecahkan lapisan hidrokarbon sehingga mikropori dapat terbentuk. Mikropori merupakan lokasi dimana proses penyerapan akan berlangsung. Proses aktivasi dalam pembuatan karbon aktif dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut, yaitu dengan aktivasi fisika, aktivasi kimia, aktivasi kimia fisika, dan aktivasi dengan menggunakan iradiasi *microwave*.

2.4.3.1 Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika merupakan mekanisme pemecahan rantai karbon yang tersusun dari senyawa organik menggunakan gas karbon dioksida, gas nitrogen, atau uap air yang dialirkan secara terkontrol selama proses aktivasi fisika. Proses ini pada umumnya dilakukan dengan menggunakan reaktor pada suhu 600 – 1000°C. Selama proses aktivasi, tar yang masih terdapat dalam karbon dikurangi kadarnya dengan aliran gas inert. Tar tersebut merupakan zat hitam kental atau coklat pekat dengan bau tajam hasil dari proses pemanasan yang tidak sempurna, sedangkan gas inert ini merupakan gas yang stabil dan tidak mudah bereaksi dengan zat lain. Proses aktivasi fisika pada dasarnya bertujuan untuk memperluas pori-pori karbon aktif dengan cara menghilangkan kandungan hidrogen dan zat lain yang terdapat dalam pori-pori karbon (Muna, 2011).

2.4.3.2 Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia merupakan aktivasi dengan tujuan memutuskan rantai karbon dari senyawa organik dengan menggunakan aktivator berupa bahan-bahan kimia. Pada proses aktivasi kimia, bahan baku yang telah terkarbonisasi dicampurkan dengan aktivator. Dalam aktivasi kimia karbon aktif, beberapa jenis aktivator yang umum digunakan antara lain H_3PO_4 , H_2SO_4 , HNO_3 , ZnCl_2 , NaOH dan KOH (González-García, 2018). Selain itu ada juga yang menggunakan aktivator H_2O_2 (Ncibi *et al.*, 2014), K_2CO_3 (Gurten *et al.*, 2012; Suhas *et al.*, 2007), CaCl_2 (Lecerda *et al.*, 2015), dan beberapa lainnya adalah garam asam (Ramírez-Montoya *et al.*, 2015) yang juga digunakan sebagai agen pengaktif. Selama tahap aktivasi kimia, rasio antara aktivator dan massa bahan baku,

waktu pengadukan, suhu harus dikontrol dengan ketat untuk mendapatkan hasil optimal (González-García, 2018). Secara umum metode aktivasi kimia memiliki keunggulan dibandingkan dengan aktivasi fisika. Diantara keunggulan menggunakan aktivasi kimia adalah suhu yang digunakan untuk aktivasi lebih rendah, karbon aktif yang dihasilkan lebih banyak, memiliki jumlah pori-pori yang lebih banyak dan lebih beragam.

2.4.3.3 Aktivasi Kimia Fisika

Aktivasi kimia fisika merupakan proses pembuatan karbon aktif dengan mengkombinasikan aktivasi kimia dan fisika. Karbon hasil dari proses karbonisasi mula-mula diaktivasi dengan aktivator yang berasal dari bahan kimia. Campuran antara bahan baku dan aktivator yang dihasilkan kemudian diolah secara termal pada suhu yang berkisar antara 400 sampai 1000°C dalam atmosfer terkontrol, kemudian dicuci untuk menghilangkan kandungan zat pengaktif. Pemberian aliran gas seperti nitrogen, atau argon biasanya juga dilakukan selama proses pirolisis, hal ini dapat menunjang perkembangan porositas internal yang lebih baik dalam material karbon aktif. Aktivator membantu mengembangkan porositas dengan cara dehidrasi dan degradasi struktur biomassa, selain itu rasio antara bahan baku dan aktivator juga memainkan peranan penting dalam distribusi ukuran pori dan luas permukaan (Mohamed, 2010). Tujuan dari aktivasi gabungan ini adalah untuk membersihkan seluruh permukaan karbon aktif yang masih tertutup oleh tar dan zat pengotor lainnya. Ada banyak keuntungan untuk aktivasi kimia termasuk suhu rendah, struktur pori yang berkembang dengan baik dan hasil yang tinggi.

2.4.3.4 Aktivasi dengan *Microwave*

Microwava atau gelombang mikro merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki frekwensi berkisar antara 300 MHz sampai 300 GHz. Gelombang ini tersusun dari dua bidang bergetar dan tegak lurus, yaitu medan listrik dan medan magnet. Prinsip radiasi gelombang mikro berdasarkan pengaruh langsung gelombang terhadap material yang memiliki sifat polar. Energi gelombang elektromagnetik akan diserap dan diubah menjadi kalor oleh material polar akibat peristiwa konduksi ionik dan rotasi dipol. Selama terjadinya konduksi ionik, panas yang dihasilkan merupakan akibat resistensi bahan terhadap aliran ion karena

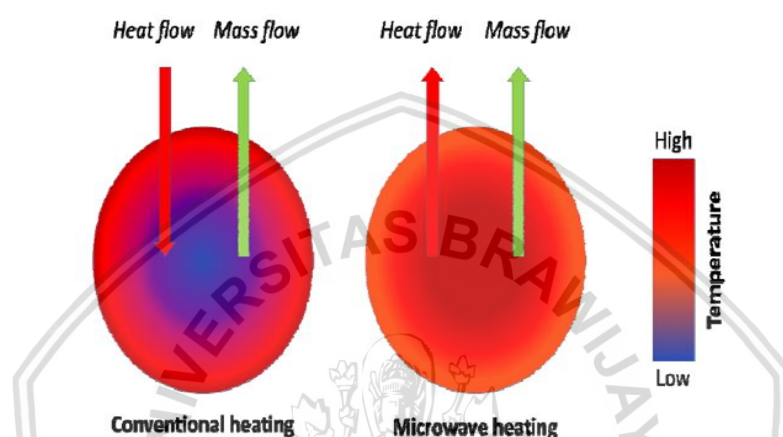
pengaruh medan listrik, ion akan menjaga pergerakannya sesuai dengan medan listrik yang berubah. Keadaan tersebut menyebabkan terjadinya benturan antar molekul sehingga menghasilkan panas (Azmir *et al.*, 2013). Karena kelebihan penyinaran gelombang mikro (termasuk keamanan, kecepatan dan pemanasan selektif) bila dibandingkan dengan pemanasan konvensional, pemanasan gelombang mikro adalah teknologi baru dalam industri proses kimia.

Microwave telah banyak digunakan di berbagai bidang industri dan juga dalam aplikasi medis. Kelebihan pemanasan dengan menggunakan gelombang mikro mencakup selektivitas, kecepatan dan fakta bahwa gelombang homogen dalam keseluruhan volume sampel, hal ini yang menyebabkan metode ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan menggunakan metode pemanasan konvensional.

Pemanasan dengan gelombang mikro didasarkan pada konversi radiasi elektromagnetik menjadi panas, berbeda dengan mekanisme konveksi klasik. Perbedaan memungkinkan pemendekan waktu pemanasan, sehingga dengan demikian akan dapat menghemat energi yang digunakan. Oleh karena itu, pemanasan gelombang mikro semakin sering digunakan dalam reaksi kimia ataupun pirolisa. Ada dua jenis pirolisa biomassa, yaitu pemanasan konvensional dan microwave. Dengan cara konvensional, tungku tabung digunakan sebagai sumber pemanasan untuk pirolisa biomassa. Metode pemanasan ini memiliki kelemahan ekonomis, karena semakin lama waktu pirolisa menggunakan atmosfer inert, menyebabkan proses ini semakin mahal (Hesas *et al.*, 2013).

Sejumlah penelitian telah dilaporkan dalam literatur yang ada mengenai penggunaan pemanasan gelombang mikro untuk meregenerasi karbon aktif (Foo dan Hameed, 2013; Kundu *et al.*, 2015; Saucier *et al.*, 2015; Veksha *et al.*, 2015). Hal ini didukung fakta bahwa karbon adalah peredam gelombang mikro yang baik karena interaksi elektron yang terdelokalisasi dengan gelombang mikro. Pemanasan *microwave* memiliki keunggulan dibandingkan pemanasan konvensional karena waktu prosesnya yang lebih pendek (<10min), sehingga menghemat energi dan pengurangan biaya atmosfer inert selama pirolisis.

Modus dimana panas dihasilkan dalam pemanasan gelombang mikro berbeda dengan pemanasan konvensional. Pada pemanasan konvensional panas ditransfer secara konduksi dalam tungku, sedangkan pada pemanasan *microwave* panas dihasilkan oleh konduksi ionik dan rotasi dipol dari molekul sampel, yang dengan cepat dapat meningkatkan suhu dan menghasilkan distribusi suhu yang seragam terhadap sampel (Hesas *et al.*, 2013).



Gambar 2.4. Mekanisme pemanasan dengan menggunakan gelombang mikro (Al *et al.*, 2018)

Berikut adalah metode aktivasi, aktivator, dan bahan baku berupa lignoselulosa dengan karakteristik tertentu yang pernah diteliti sebelumnya.

Tabel 2.2 Metode aktivasi yang digunakan pada bahan lignoselulosa

Metode Aktivasi	Bahan Aktivasi	Materi Lignoselulosa
Kimia	KOH	Biji-bijian kering, batang bambu, sampah daun, tandan kosong kelapa sawit, kulit argan, tankai bunga matahari, kulit singkong, kulit biji kedelai, kulit biji kopi.
	ZnCl ₂	Batang kurma, ampas tebu, limbah kopi.
	NaOH	Kulit aprikot.
	K ₂ CO ₃	jerami padi, kulit kopi coklat.
	FeCl ₃	Batang kurma.
Fisika	Steam	Batang jagung, ampas dengan kadar abu rendah, kulit kacang, sekam padi, serbuk gergaji.
	CO ₂	Kulit kopi.
	Steam	Kulit kacang, pohon kurma, kulit

Kombinasi dan Fisika bantuan Microwave	KOH/CO ₂	buncis, batang zaitun, bubur apel. Tandan kosong palem, limbah singkong.
	ZnCl ₂	Tangkai kapas, kayu cemara putih, ampas tebu, sekam padi.
	KOH	Pohon kurma, tandan kosong palem, tangkai kapas, serat palem, kulit batang palem.
	K ₂ CO ₃	Tangkai kapas, batang tembakau, serbuk gergaji kayu.
	NaOH	Tandan kosong langsung,
	H ₃ PO ₄	Sampah teh, tangkai kapas, bambu.
	Steam	Batang jatropa, kulit kacang.

Sumber: (Abioye dan Farid, 2015)

2.5 Aktivator Agent

Aktivator merupakan bahan kimia yang digunakan sebagai agen pengaktif kandungan karbon sehingga mengalami perubahan dan peningkatan daya serap. Aktivator mampu mengikat kandungan air yang terikat pada pori-pori karbon, sehingga menyebabkan kandungan air yang tidak menghilang selama proses karbonisasi menjadi lepas. Selanjutnya aktivator tersebut akan meresap ke pori-pori arang dan menciptakan pori pada arang. Oleh karena itu pada saat terjadinya aktivasi senyawa yang diindikasikan sebagai pengotor yang terkandung dalam pori akan mudah terserap sehingga luas permukaan dan daya serap karbon aktif akan semakin meningkat. Berikut adalah macam-macam aktivator yang umum digunakan dalam aktivasi kimia.

2.5.1 Kalium hidroksida (KOH)

Kalium hidroksida (KOH) atau yang memiliki nama lain Kaustik Kalium, Potash Alkali, Potassia, Kalium Hidrat atau *caustic potash* termasuk kelompok basa kuat yang dapat dibuat dari kalium dengan nomor atom 19 berdasarkan tabel periodik dan termasuk kedalam golongan *heavy chemical industry*. Kalium Hidroksida merupakan senyawa berbentuk Kristal berwarna putih yang higroskopis. KOH biasa diperjual belikan dalam bentuk padat maupun cair dengan konsentrasi antara 45-50%. Kalium hidroksida banyak diaplikasikan oleh industri kimia seperti pada industri sabun, pupuk, reagen maupun juga baterai

alkaline. Sifat fisik dan kimia dari kalium hidroksida adalah sebagai berikut (Ramdani, 2016a):

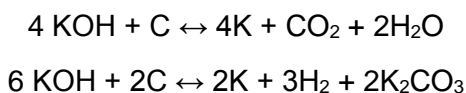
Sifat Fisika

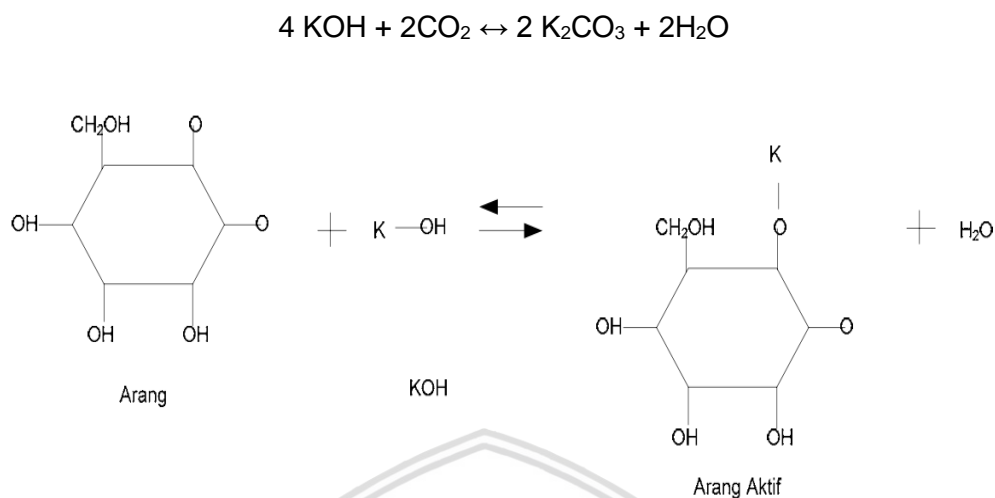
Berat molekul	: 56,10564 gr/mol
Titik lebur	: 360°C
Titik didih	: 1320°C
Densitas	: 2,044 gr/cm
Kelarutan dalam air	: 1109 g/L
Bentuk	: Padat serta dapat dibentuk menjadi butir, gumpalan, stick dan serpih.
Warna	: Tidak berwarna (putih)
Bau	: Tak Berbau
Kelarutan	: larut dalam alkohol, gliserol, eter, cairan Amonia

Sifat Kimia

- Termasuk dalam golongan basa kuat
- Reaktivitas: Hidroskopis, menyerap karbondioksida
- Korosif : Dapat merusak logam-logam
- Mengalami reaksi bersama CO_2 di udara membentuk K_2CO_3 dan air
- Bereaksi dengan asam membentuk garam
- Bereaksi dengan Al_2O_3 membentuk AlO^{2-} yang larut dalam air
- Mengalami reaksi dengan halida (X) sehingga dihasilkan KOX beserta asam halida
- Mengalami reaksi dengan trigliserida menghasilkan gliserol dan sabun.
- Mengalami reaksi dengan ester sehingga menghasilkan garam dan produk lain berupa senyawa alkohol

Aktivasi kimia dengan menggunakan aktivator KOH akan menghasilkan hasil rendaman coklat kehitaman dikarenakan larutan KOH merupakan basa kuat yang memiliki sifat korosif sehingga menghasilkan banyak abu yang terlepas dari arang. Dapat menghasilkan senyawa karbonat / kapur (K_2CO_3) yang berwarna putih pasca reaksi dengan karbon. Adapun reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut.





Gambar 2.5. Mekanisme reaksi KOH dalam menghasilkan pori karbon aktif (Adinata, 2013)

Pada proses aktivasi karbon akan bereaksi dengan KOH dan menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. Partikel yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya pori-pori karbon akan terbuka. Selanjutnya reaksi akan berlangsung dengan mengikis dinding karbon dan menghasilkan pori-pori baru. Pada reaksi tersebut juga keluar air sebagai efek samping dari reaksi yang terjadi karena KOH merupakan *dehydrating agent*.

2.5.2 Asam fosfat (H_3PO_4)

Asam fosfat (H_3PO_4) telah banyak dikenal sebagai asam ortofosfat atau dalam istilah lain fosfat (V) asam, merupakan golongan mineral (anorganik) asam dengan rumus kimia H_3PO_4 . Asam fosfat murni berbentuk kristal padat yang tidak berwarna, dengan titik leleh sekitar $42,35^\circ\text{C}$. Asam fosfat dapat menghasilkan tiga jenis garam yang dibentuk dengan proses pergantian atom hidrogenya. Di antara jenis garam fosfat yang penting adalah natrium fosfat (Na_3PO_4), natrium dihidrogen fosfat (NaH_2PO_4), kalsium superfosfat $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, kalsium monohidrogen fosfat CaHPO_4 . Pada suhu rendah, asam fosfat tidak mempunyai sifat oksidator dan lebih stabil, sedangkan pada suhu yang cukup tinggi reaktif terhadap logam yang mereduksinya. Sifat fisik dan kimi dari asam fosfat adalah sebagai berikut:

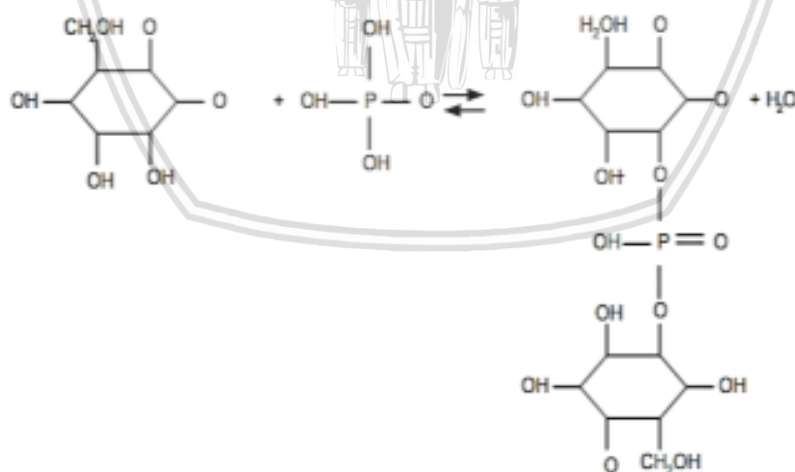
Sifat Fisik

Berat molekul	: 97,99 g·mol ⁻¹
Densitas	: 685 g/mL (85% <i>solution</i>)
Titik didih	: 158°C
Titik lebur	: 42.35°C
Kelarutan dalam air	: 446 g/100 mL

Sifat kimia

- Merupakan golongan asam lemah
- Rumus molekul : H₃PO₄
- Berat molekul adalah : 98 gr/mol
- Pada temperatur yang tinggi, dapat mengalami sebuah reaksi dengan metal dan berakibat teroksidasi
- Proses reduksi Asam fosfat dapat dilakukan dengan pereduksi kuat seperti H₂.

(Ramdani, 2016b)



Gambar 2.6. Mekanisme reaksi H₃PO₄ dalam menghasilkan pori karbon aktif

(Adinata, 2013)

H₃PO₄ memiliki stabilitas termal yang baik dan memiliki karakter kovalen yang tinggi. Stabilitas termal berperan dalam mempertahankan kestabilan zat

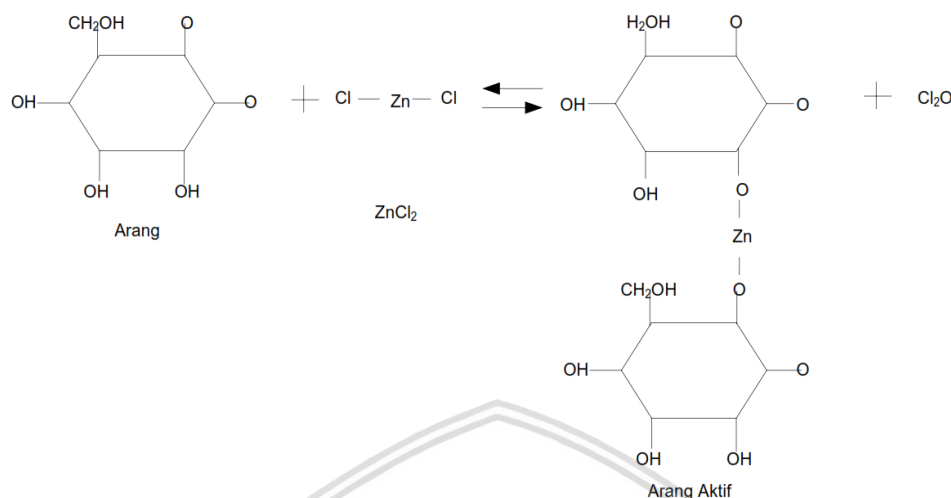
pengaktif dalam proses aktivasi yang dilakukan pada suhu tinggi sedangkan karakter kovalen berkaitan dengan interaksi kovalen antara arang dengan zat pengaktif yang berlangsung pada suhu tinggi. Unsur-unsur yang menyusun H_3PO_4 berikatan secara kovalen polar. Dengan demikian, senyawa H_3PO_4 lebih didominasi oleh karakter kovalen. Arang, yang tersusun dari atom-atom C yang secara kovalen membentuk struktur heksagonal datar dengan satu atom C pada tiap sudut, akan berinteraksi dengan zat yang memiliki karakter kovalen. Jadi, H_3PO_4 memiliki kemampuan berinteraksi dengan baik terhadap arang (Koleangan dan Wuntu, 2008).

2.5.3 Seng Klorida (ZnCl_2)

Seng klorida merupakan senyawa dengan rumus ZnCl_2 mempunyai sifat yang larut dalam air bersifat higroskopis serta *deliquescent*. Oleh karena itu ZnCl_2 harus dilindungi dari kelembaban. Seng klorida banyak diaplikasikan secara luas dalam sintesis kimia, pengolahan tekstil, fluks metalurgi (Jaya, 2014). Seng klorida merupakan aktivator yang sangat berperan dalam proses aktivasi karbon aktif secara kimia. Sifat fisik dari seng klorida adalah sebagai berikut;

Sifat Fisik

Berat Molekul	: 136,315 gr/mol
Densitas	: 2,907 gr/cm ³
Titik Lebur	: 292°C
Titik Didih	: 756°C
Kelarutan dalam Air	: 4320 gr/L (25°C)
Geometri Koordinasi	: Tetrahedral, linier dalam fase gas
Bentuk	: Kristal padat putih



Gambar 2.7. Mekanisme reaksi ZnCl_2 dalam menghasilkan pori karbon aktif (Adinata, 2013)

2.6 Manfaat karbon Aktif

Karbon aktif telah dianggap sebagai adsorben universal, diantara berbagai adsorben, karbon aktif telah menunjukkan keuntungan besar dibandingkan adsorben lainnya dari segi luas permukaan dan kapasitas adsorpsi spesifiknya. Pada **Gambar 2.4** digambarkan aplikasi yang paling umum dari karbon aktif, menurut berbagai penelitian. Aplikasi dominan dari karbon aktif adalah dari tahun 1995 sampai 2016 adalah dapat diaplikasikan sebagai adsorben dalam adsorpsi kandungan logam berat: merkuri Hg (II), kromium Cr (III) dan Cr (IV), kadmium Cd (II), arsenik As (V) dan timbal Pb (II), diikuti oleh adsorpsi senyawa organik (benzena, fenol, toluena, formaldehid dan metil tert-butil eter), pewarna (terutama *malachite green* dan metilena biru), penyerapan CO_2 , katalis, adsorpsi amonia dan penyimpanan metana (González-García, 2018). Selain itu, (Gurten Inal *et al.*, 2015) menambahkan bahwa karbon aktif juga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti proses pemisahan, katalisis, rekayasa jaringan dan pembuatan kapasitor.

2.7 Adsorben

Adsorben merupakan zat padat yang mampu menyerap komponen tertentu dari materi berbentuk fluida maupun gas. Adsorben merupakan material padat berpori yang proses adsorpsinya berlangsung pada permukaan pori (Agusta, 2012). Menurut Hendra (2008), adsorben dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu

adsorben berpori (*porous sorbents*) dan adsorben tidak berpori (*non-porous sorbents*).

Kriteria adsorben yang harus dipenuhi agar dapat menjadi adsorben komersial menurut Hendra (2008) antara lain:

1. Memiliki luas permukaan yang besar per unit massanya, sehingga mampu meningkatkan kapasitas adsorpsinya.
2. Dapat berinteraksi dengan adsorbat yang menjadi pasangannya.
3. Memiliki ketahanan struktur yang tinggi.
4. Mudah diperoleh, tidak korosif, tidak beracun, dan ekonomis.
5. Tidak menimbulkan perubahan volume selama proses adsorpsi.
6. Mudah dan ekonomis untuk diregenerasi.

2.8 Adsorpsi

Adsorpsi didefinisikan sebagai fenomena yang timbul akibat medan gaya yang bekerja pada permukaan material padat (adsorben) sehingga dapat menarik molekul-molekul gas atau cairan (Basuki, 2007). Adsorpsi pada umumnya terjadi ketika gas atau cairan terlarut terakumulasi pada permukaan suatu padatan atau cairan sehingga membentuk lapisan molekul atau atom. Proses adsorpsi memiliki perbedaan dengan proses absorpsi, karena pada proses absorpsi terjadi reaksi kimia diantara permukaan adsorben dan molekul-molekul adsorbat (Agusta, 2012).

Molekul-molekul pada adsorben mempunyai gaya dengan keadaan labil. Gaya kohesi merupakan gaya saling tarik-menarik antar molekul yang jenisnya sama, sehingga menyebabkan zat satu dengan zat lain yang memiliki perbedaan jenis tidak dapat terikat karena molekulnya saling tolak-menolak. Gaya adhesi merupakan gaya tarik-menarik antara molekul yang berbeda jenisnya, gaya ini mengakibatkan zat satu dengan zat yang lainnya dapat berikatan dengan cukup baik karena antara molekulnya saling terjadi tarik-menarik. Ketidak seimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan adsorben cenderung menarik zat-zat lain yang bersentuhan dengan permukaannya (Agusta, 2012).

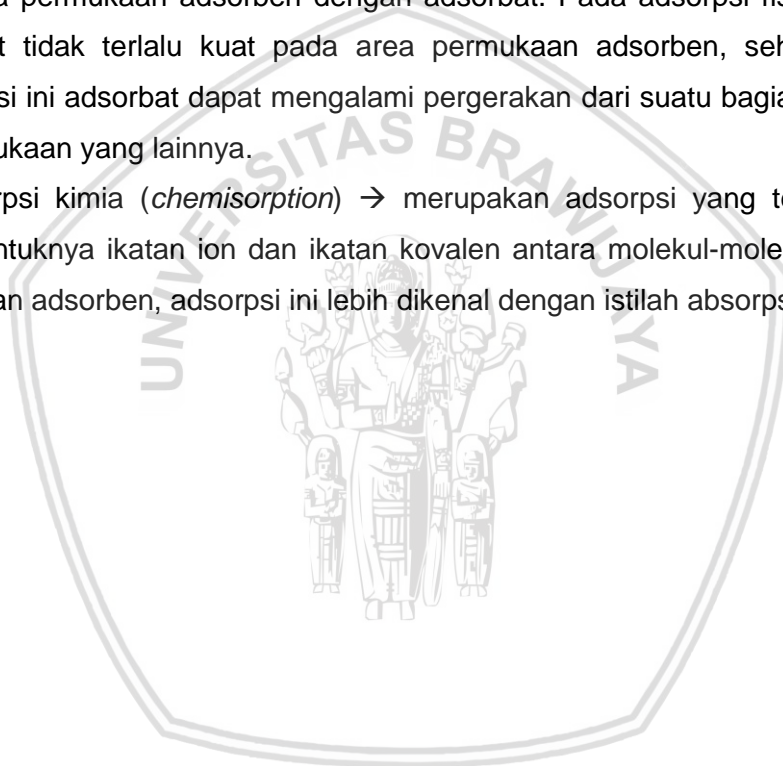
Proses adsorpsi yang terjadi pada adsorben berlangsung melalui tiga tahap sebagai berikut (Hendra, 2008) :

1. Perpindahan makro → terjadinya pergerakan molekul adsorbat melalui sistem makropori adsorben.

2. Perpindahan mikro → terjadinya pergerakan molekul adsorbat melalui sistem mesopori adsorben.
3. *Sorption* → terikatnya molekul adsorbat pada permukaan adsorben di dinding pori dari mesopori dan mikropori.

Jenis adsorpsi dapat dibedakan berdasarkan interaksi molekuler pada permukaan adsorben dengan adsorbat. Adsorpsi dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Adsorpsi fisik (*physisorption*) → merupakan adsorpsi yang terjadi akibat adanya gaya *Van Der Waals*, yaitu gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara permukaan adsorben dengan adsorbat. Pada adsorpsi fisik, adsorbat terikat tidak terlalu kuat pada area permukaan adsorben, sehingga pada kondisi ini adsorbat dapat mengalami pergerakan dari suatu bagian ke bagian permukaan yang lainnya.
2. Adsorpsi kimia (*chemisorption*) → merupakan adsorpsi yang terjadi akibat terbentuknya ikatan ion dan ikatan kovalen antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben, adsorpsi ini lebih dikenal dengan istilah absorpsi.



III. KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Fikir

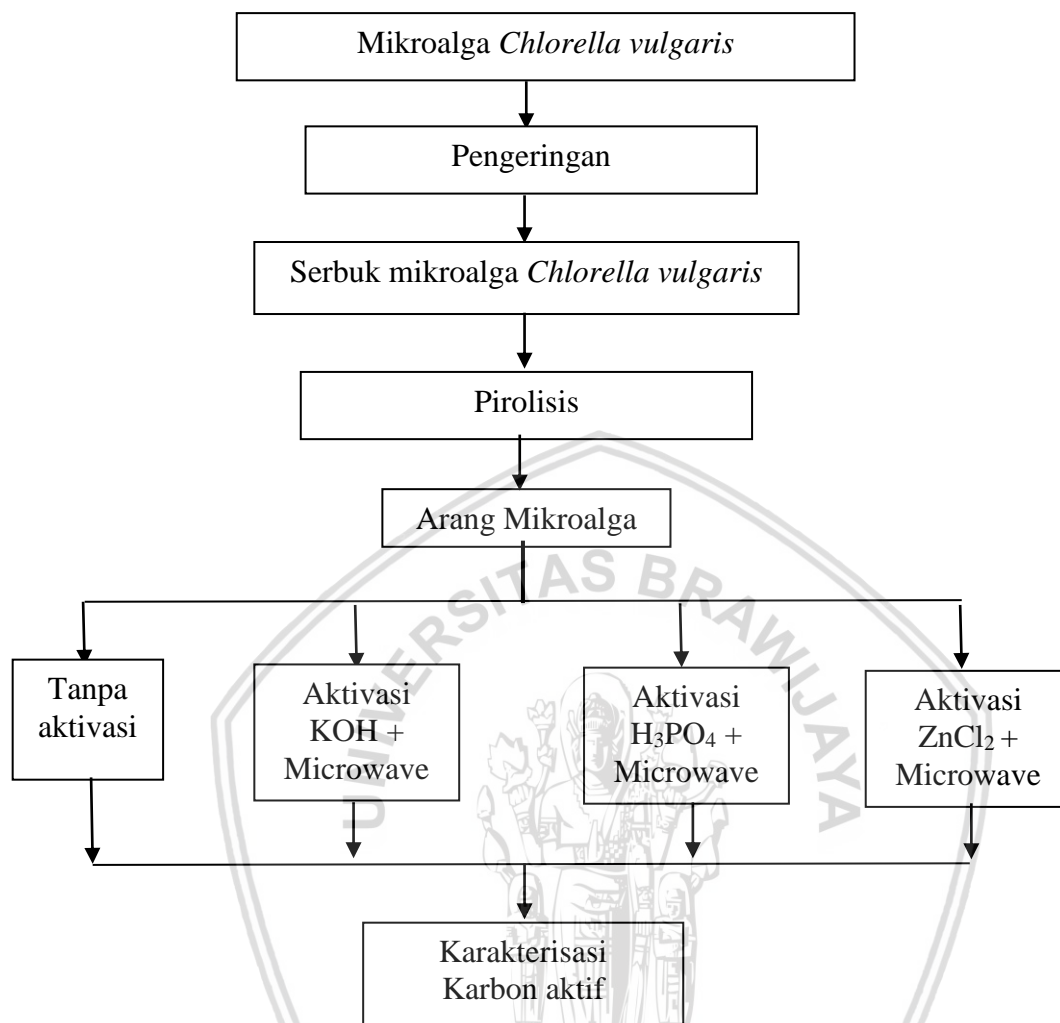
Mikroalga adalah organisme fotosintesis yang paling cepat berkembang dengan cara memanfaatkan senyawa CO₂, nutrisi lain yang dapat diperoleh dari limbah organik dan sinar matahari sebagai media fotosintesis. Mikroalga merupakan kandidat potensial yang diharapkan mampu menjadi alternatif dalam menyediakan kebutuhan energi dan pangan dengan waktu yang relatif singkat, dapat dikembangkan di lahan non produktif, dan tidak membutuhkan lahan yang terlalu luas. Dalam aplikasi kekinian, mikroalga banyak diaplikasikan untuk memecahkan permasalahan besar yaitu krisis energi, pangan, dan pengolahan limbah cair industri.

Lebih dari itu, biomassa mikroalga pada umumnya mengandung komponen penting seperti protein, lipid, karbohidrat, mineral, serta kandungan lain seperti selulosa yang terdapat pada dinding sel mikroalga. Beberapa jenis mikroalga yang telah berhasil dikembangkan dalam skala besar di Indonesia adalah jenis *Chlorella vulgaris*, mikroalga ini terkenal sebagai mikroalga dengan pertumbuhan yang cepat, kandungan lipid tinggi, potensi penggunaan nutrisi yang efisien, dan merupakan salah satu dari delapan mikroalga paling toleran. Berdasarkan hal itu, dalam penelitian ini *Chlorella vulgaris* akan dijadikan sebagai bahan baku broduk yang memiliki banyak manfaat yaitu karbon aktif, sekaligus mengamati perubahan komposisi mikroalga mulai dari biomassa kering, arang mikroalga, dan arang aktif pasca aktivasi dengan menggunakan aktivator yang berbeda.

Dalam proses pembuatan karbon aktif dikenal berbagai macam proses aktivasi, seperti aktivasi kimi, fisika, kombinasi aplikasi, maupun penggunaan gelombang mikro pada saat aktivasi. Penggunaan gelombang mikro dalam sintesis maupun aktivasi material memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan pemanasan konvensional yang umumnya digunakan untuk aktivasi secara fisika, antara lain mampu memanaskan sampel dalam waktu yang relatif cepat dan menghasilkan distribusi panas yang lebih seragam dan merata dibandingkan pemanasan konvensional.

Pemilihan power *microwave* pada penelitian ini berdasarkan kepada penelitian Ahmad dan theydan (2014), yang melakukan penelitian aktivasi karbon aktif biomassa lignosellulosa menggunakan radiasi *microwave* dengan menggunakan daya *microwave* 620W selama 8 menit. Hasil penelitian telah menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan 1824.88 m²/g. Liao, *et al.* (2016), mengungkapkan bahwa pemakaian *microwave* dengan daya lebih tinggi yaitu diatas 700 W mungkin akan menyebabkan kerusakan struktur pori, dengan demikian akan semakin menurunkan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Selain itu kenaikan temperatur juga akan menyebabkan ablasi eksternal, penyusutan dan kerusakan kerangka karbon. Oleh karena itu tingkat power *microwave* disarankan berkisar antara 500 W sampai 700 W untuk aktivasi yang efektif. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan digunakan daya *microwave* sebesar 600 W dan dengan batasan waktu 8 menit dalam proses aktivasi karbon aktif *Chlorella vulgaris*.

Selain metode aktivasi, parameter penting lain yang berpengaruh dalam pembuatan karbon aktif adalah aktivator dan konsentrasi activator agen. Dalam penelitian ini digunakan tiga jenis aktivator yang berbeda yaitu KOH, H₃PO₄, dan ZnCl₂, dimana aktivator ini telah umum digunakan dalam proses aktivasi kimia dan mampu menghasilkan luas permukaan yang signifikan. Selain dari jenis activator agent perbedaan konsentrasi aktivator juga akan diamati dalam penelitian ini, untuk melihat perubahan karakteristik karbon aktif meliputi kadar abu, kadar zat teruap, kadar karbon aktif murni, daya serap larutan iodin, dan perhitungan luas permukaan BET, serta perubahan morfologi permukaan yang ditimbulkan. Kerangka konseptual yang dibangun dalam penelitian ini adalah seperti pada **Gambar 3.1** berikut ini



Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian

3.2 Hipotesis

Diduga rasio dan jenis aktivator, serta aktivasi dengan gelombang mikro akan memberikan pengaruh terhadap kadar abu, kadar zat teruap, kadar karbon aktif murni, daya serap larutan iodin, dan luas permukaan BET, serta perubahan morfologi permukaan karbon aktif yang dihasilkan.

IV. METODE PENELITIAN

4. 1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

4.1.1 Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini akan dilakukan di beberapa tempat, yaitu:

- a) Karbonisasi mikroalga *Chlorella vulgaris* dan pengujian SEM-EDX: Laboratorium Sentral dan Material Maju Universitas Negeri Malang.
- b) Aktivasi karbon aktif mikroalga : Laboratorium Kimia Dasar Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya.
- c) Pengujian kadar abu dan zat teruap : Laboratorium Sentral dan Material Maju Universitas Negeri Malang.
- d) Pengujian Luas Permukaan BET : Laboratorium Elektrokimia Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi 10 November.

4.1.2 Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2018 – November 2018.

4.2 Alat dan Bahan

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian pengaruh rasio dan jenis aktivator terhadap karakteristik karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris* adalah sebagai berikut:

4.2.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan selama penelitian ini adalah:

1. Oven : untuk menghilangkan kadar air dari bahan, dan pengeringan karbon aktif
2. Kurs porselen : sebagai wadah biomassa mikroalga dalam proses karbonisasi, pengujian kadar abu dan pengujian kadar zat teruap.
3. *Furnace*: sebagai tempat proses karbonisasi dan pengabuan bahan.
4. Microwave : sebagai pemancar iradiasi gelombang mikro pada tahapan aktivasi

5. Neraca analitik : untuk menimbang biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris*, activator agent, iodin, sampel arang aktif dan lain-lain.
6. Ayakan 100 mesh : untuk menyeragamkan ukuran arang mikroalga sebelum proses aktivasi.
7. Desikator : sebagai tempat penyimpanan dan menyerap uap air yang masih tersisa pada sampel.
8. Mortar : untuk menghaluskan arang hasil karbonisasi.
9. Kertas saring kasar : untuk menyaring sampel.
10. Corong : sebagai tempat meletakkan kertas saring pada proses penyaringan.
11. *Beaker Glass*: sebagai wadah sampel.
12. Pipet ukur : untuk mengambil bahan kimia yang berupa cairan.
13. Spatula : untuk pengadukan bahan dan aktivator agent.
14. Erlenmeyer : sebagai wadah residu hasil penyaringan.
15. Kertas Lakmus dan pH meter : untuk mendeteksi pH sampel dan residu air bilasan karbon aktif.
16. Cawan alumunium : sebagai wadah pada proses pengovenan sampel.
17. Buret dan Statif: sebagai media titrasi.
18. Perangkat SEM-EDX Fei, Inspect-24 : untuk mengetahui morfologi dan komposisi penyusun karbon aktif.
19. Perangkat pengujian Luas BET (Brunauer–Emmett–Teller) Surface area analyzer Nova 1200e, 2012 : untuk mengetahui luas permukaan karbon aktif.

4.2.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

1. Bahan utama: Bahan utama adalah serbuk mikroalga *Chlorella vulgaris* kering yang diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP), Situbondo– Jawa Timur, hasil budidaya pada kolam terbuka selama 7 hari.
2. Bahan kimia sebagai aktivator: KOH, H₃PO₄, dan ZnCl₂ diperoleh dari PT. Panadia Corporation – Malang.

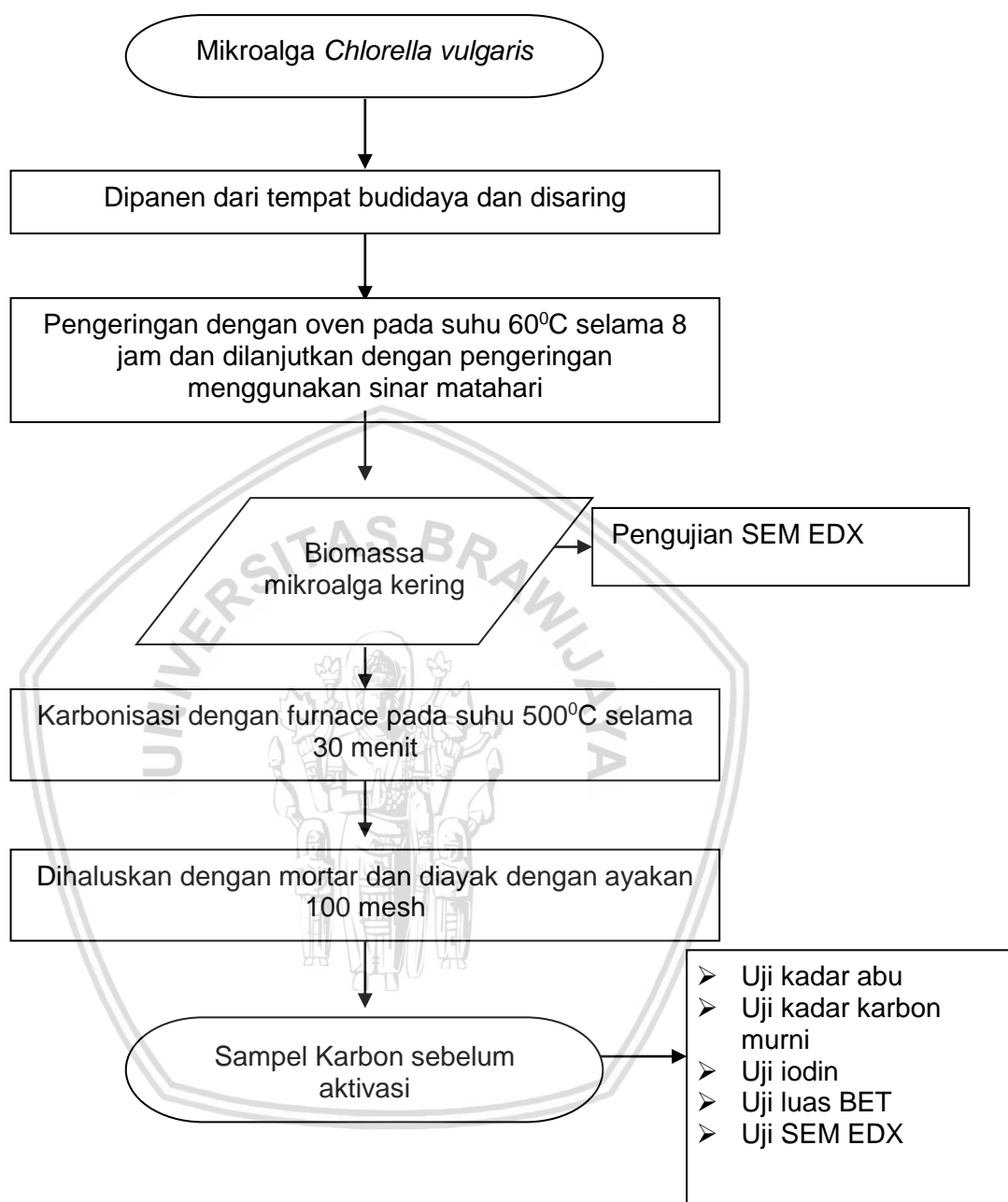
3. Bahan kima uji bilangan iodin : Larutan iodin 0,1 N; larutan amilum 1% dan larutan natrium tiosulfat 0,1 N diperoleh dari CV. Makmur Sejati – Malang dan PT. Panadia Corporation – Malang.
4. Bahan habis pakai: Akuades (sebagai bahan pelarut dan pencuci) dan wadah sampel karbon diperoleh dari CV. Makmur Sejati – Malang dan SIP Malang.

4.3 Metode Penelitian

Penelitian tentang preparasi karbon aktif dari mikroalga *Chlorella vulgaris* ini dilakukan dalam 2 tahapan. Penelitian tahap I adalah proses pembuatan arang dari mikroalga *Chlorella vulgaris*. Tahap II adalah pengaruh rasio, activator agen, serta iradiasi gelombang mikro terhadap karakteristik karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris*.

4.3.1 Penelitian Tahap I

Penelitian tahap I dilakukan untuk menganalisis kandungan dan potensi mikroalga *Chlorella vulgaris* sebagai bahan baku karbon aktif dan menganalisis karakteristik karbon mikroalga *Chlorella vulgaris* sebelum dilakukan proses aktivasi kimia berbantuan *microwave*. Adapun yang diamati pada penelitian tahap I ini adalah kandungan potensial yang dapat dijadikan sumber karbon pada mikroalga *Chlorella vulgaris* kering, serta karakteristik karbon yang dihasilkan meliputi kadar abu, kadar zat teruap, kadar karbon aktif murni, daya serap larutan iodin, luas permukaan BET, komposisi dan struktur karbon *chlorella vulgaris* setelah proses karbonisasi. Diagram alir dari penelitian tahap I adalah seperti pada gambar berikut ini



Gambar 4.1. Diagram alir pembuatan arang mikroalga

4.3.2 Penelitian Tahap II

Output dari proses karbonisasi adalah arang yang belum teraktivasi, oleh karena itu langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah proses aktivasi arang hingga diperoleh arang aktif. Penelitian tahap II dilakukan untuk menghasilkan karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan metode aktivasi kimia berbantuan *microwave*. Rancangan percobaan pada penelitian ini menggunakan Rancang Acak Kelompok Faktorial. Rancangan percobaan disusun secara faktorial menggunakan 2 faktor. Faktor pertama merupakan konsentrasi aktivator yang terdiri dari 3 level, yaitu 10%, 30% dan 50%. Faktor ke-dua merupakan variasi jenis aktivator yang terdiri dari 3 level, yaitu KOH, H_3PO_4 , dan $ZnCl_2$. Dari kombinasi 2 faktor tersebut diperoleh 9 kombinasi perlakuan dan dilakukan 3 kali ulangan, sehingga akan didapatkan 27 kombinasi perlakuan. Variabel penelitian dan kombinasi tiap variabel dijelaskan sesuai pada **Tabel 4.1** berikut ini.

Tabel 4.1 Rancangan variasi percobaan

R (Konsentrasi Aktivator)	A (Activator)	A ₁ KOH	A ₂ H_3PO_4	A ₃ $ZnCl_2$
10%		R ₁ A ₁	R ₁ A ₂	R ₁ A ₃
30%		R ₂ A ₁	R ₂ A ₂	R ₂ A ₃
50%		R ₃ A ₁	R ₃ A ₂	R ₃ A ₃

Keterangan:

R₁A₁= Aktivasi dengan aktivator KOH pada konsentrasi 10%

R₁A₂= Aktivasi dengan aktivator H_3PO_4 pada konsentrasi 10%

R₁A₃= Aktivasi dengan aktivator $ZnCl_2$ pada konsentrasi 10%

R₂A₁= Aktivasi dengan aktivator KOH pada konsentrasi 30%

R₂A₂= Aktivasi dengan aktivator H_3PO_4 pada konsentrasi 30%

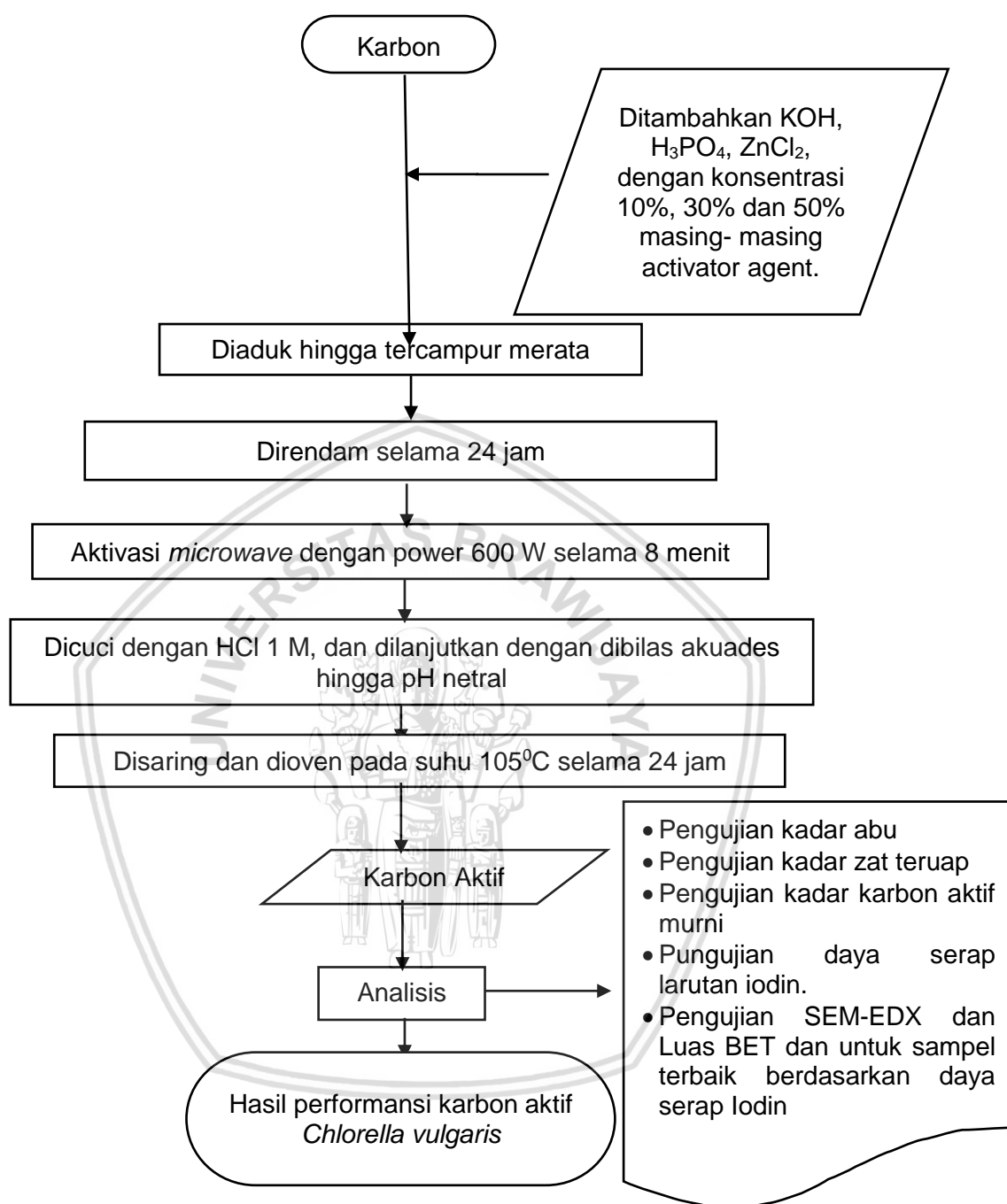
R₂A₃= Aktivasi dengan aktivator $ZnCl_2$ pada konsentrasi 30%

R₃A₁= Aktivasi dengan aktivator KOH pada konsentrasi 50%

R₃A₂= Aktivasi dengan aktivator H_3PO_4 pada konsentrasi 50%

R₃A₃= Aktivasi dengan aktivator $ZnCl_2$ pada konsentrasi 50%

Untuk selanjutnya kualitas Arang aktif yang dihasilkan akan dibandingkan dengan karbon aktif merk Haycarb yang sudah memenuhi SNI.



Gambar 4.2 Proses aktivasi dan pengujian karbon aktif *Chlorella vulgaris*.

4.4 Analisis Data

Pada penelitian ini, data yang diperoleh berdasarkan Rancang Acak Kelompok Faktorial akan dianalisis menggunakan ANOVA (*analysis of variances*). Kemudian apabila terdapat pengaruh atau berbeda nyata akan diuji lanjut dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) dengan selang kepercayaan 5% untuk mengetahui tingkat perbedaan dari masing-masing perlakuan.

V. PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Biomassa Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Bahan baku utama berupa mikroalga *Chlorella vulgaris* dipanaskan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 8 jam untuk proses pengeringan dan dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan sinar matahari hingga didapatkan serbuk mikroalga dengan kadar air 4.47%. Untuk mengetahui komposisi unsur dari bahan baku berupa serbuk mikroalga dilakukan pengujian kandungan unsur menggunakan SEM-EDX. Komposisi unsur dari biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris* disajikan dalam Tabel 5.1 berikut ini.

Table 5.1. Kandungan unsur mikroalga *Chlorella vulgaris* kering

Unsur	Wt%
C	16.09
O	25.78
Na	15.99
Mg	14.24
P	0.60
S	0.58
Cl	23.87
Ca	1.64
Zr	1.03
Si	0.18

Dari tabel 5.1 diketahui bahwa komposisi biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris* terdiri dari unsur yang beragam, adanya kandungan unsur karbon yang terdeteksi berdasarkan pengujian SEM-EDX dalam biomassa *Chlorella vulgaris* mengindikasikan bahwa biomassa ini berpotensi dijadikan sebagai bahan baku karbon aktif walaupun jumlahnya relatif sedikit dibandingkan dengan kandungan yang pernah didapatkan oleh Chang *et al.* (2015), dengan kandungan karbon 51%, hidrogen 8%, dan nitrogen 11%. Begitu juga dengan yang didapatkan oleh Zainan *et al.* (2018) dengan kandungan karbon 43.62%, hidrogen 6.99%, nitrogen 6.15%, sulfur 6.90%, dan oksigen 36.34%. Kandungan ion organik dari bermacam-macam jenis mikroalga yang berbeda disebabkan media yang digunakan selama proses kultivasi. Kandungan unsur yang lain juga terdeteksi pada sample mikroalga *Chlorella vulgaris* yaitu unsur Na dan Cl, unsur ini adalah unsur pembentuk garam yang secara umum terkandung dalam air payau yang

digunakan sebagai media pengembangan mikroalga. Selain itu, adanya unsur lain yang terkandung dalam biomassa mikroalga dalam jumlah kecil seperti Mg, P, S, Ca, dan Si diduga berasal dari komposisi pupuk standar yang digunakan untuk menutrisi pertumbuhan mikroalga yang mengandung KNO_3 , NaH_2PO_4 , Na_2EDTA , FeCl_3 dan kontak langsung antara media pengembangbiakan mikroalga dengan lingkungan luar, karena mikroalga dikembangkan dengan menggunakan kolam terbuka bukan dengan menggunakan fotobioreaktor, sehingga kontaminasi dari lingkungan luar sangat mungkin terjadi. Komposisi bahan baku merupakan faktor penting dalam pembuatan karbon aktif, karena dapat mempengaruhi susunan pori dan karakteristik dari karbon aktif yang dihasilkan.

5.2 Karakteristik Arang Biomassa Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Arang biomassa yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan hasil dari proses karbonisasi biomassa mikroalga kering dengan menggunakan furnace pada suhu 500°C selama 30 menit, dengan laju kenaikan temperatur 10°C setiap menit. Dari proses karbonisasi didapatkan produk akhir yang berupa arang mikroalga *Chlorella vulgaris*. Rendemen yang didapatkan dari proses karbonisasi serbuk mikroalga kering sampai menjadi arang mikroalga adalah sebesar 57.27%. Arang yang dihasilkan dari proses karbonisasi berwarna hitam gelap, mempunyai struktur rapuh, tidak berbau dan tidak terlarut dalam air. Kandungan unsur dari arang mikroalga *Chlorella vulgaris* disajikan dalam tabel 5.2 berikut ini.

Table 5.2. Kandungan unsur arang mikroalga *Chlorella vulgaris*

Unsur	Arang Mikroalga (Wt%)
C	27.81
O	28.54
Na	8.42
Mg	15.63
P	0.59
Cl	15.55
Ca	2.10
Zr	1.36

Hasil pengujian SEM-EDX sample arang mikroalga, menunjukkan bahwa komponen unsur yang terdapat dalam arang mikroalga tidak jauh berbeda dari komponen unsur serbuk kering mikroalga, yaitu masih mengandung unsur C, O, Na, Mg, Cl, dan unsur-unsur lain dalam jumlah yang sangat kecil. Adanya proses karbonisasi ini menyebabkan kenaikan berat rata-rata unsur karbon pada arang hasil karbonisasi dibandingkan dengan serbuk mikroalga kering yaitu naik menjadi 27.81% dari yang semula 16.09%. Kenaikan ini terjadi karena pada proses karbonisasi menggunakan suhu 500°C telah mencapai fase penguapan zat volatile dan pembentukan arang, sehingga unsur karbon mengalami kenaikan dibandingkan dengan bahan baku awal yaitu serbuk mikroalga *Chlorella vulgaris*. Kenaikan berat unsur juga terjadi pada unsur O, Mg, Ca, dan Zr, kenaikan unsur ini menunjukkan bahwa unsur-unsur tersebut masih tersisa selama terjadinya proses karbonisasi, disisi lain apabila terjadi penurunan berat unsur seperti Na, P, Cl, dan Ca maka unsur tersebut terurai selama terjadinya proses karbonisasi. Bahan mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin yang pada proses karbonisasi dengan menggunakan suhu 500°C dapat terurai dan menghasilkan berbagai produk antara lain Tar, uap air, karbon serta sebagian yang lain adalah gas CO dan CO₂, CH₂ dan H₂.

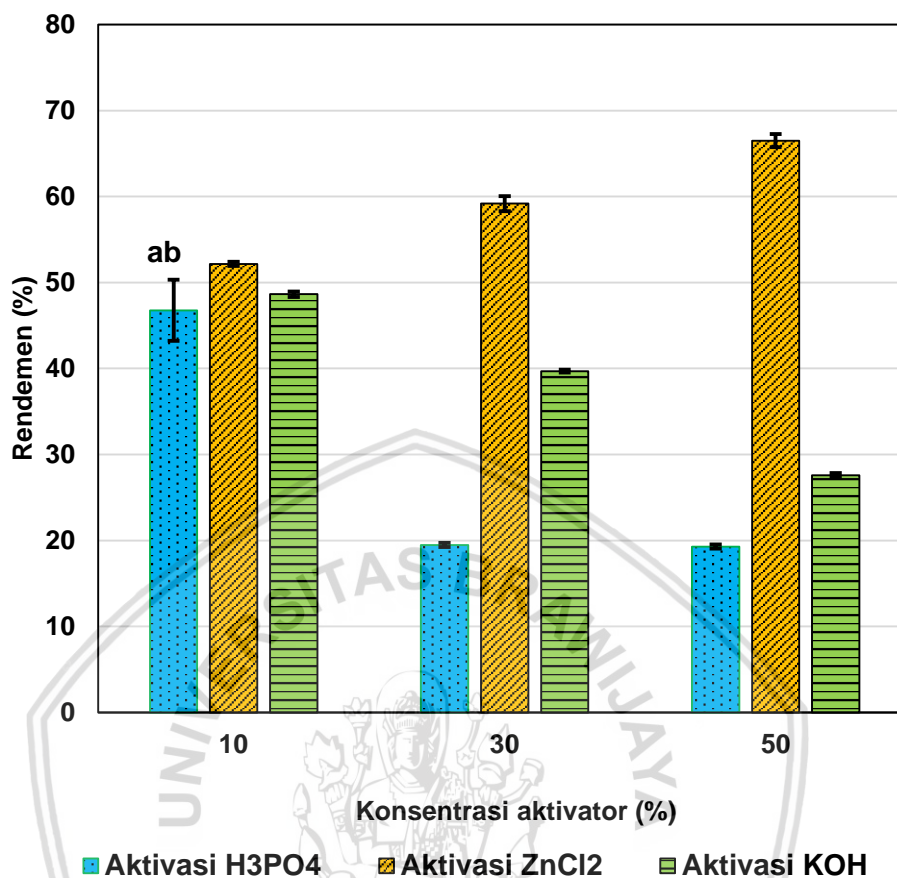
Karbonisasi atau pirolisis memberikan pengaruh besar terhadap hasil arang yang diperoleh. Hal ini disebabkan sebagian zat volatile akan hilang bersamaan dengan terjadinya proses karbonisasi. Oksidasi lanjut juga terjadi secara optimal tanpa ketiadaan gas inert yang berfungsi sebagai penghambat reaksi oksidasi selama terjadinya proses karbonisasi. Selaras dengan dengan penelitian Rizzo *et al.* (2013) yang melaporkan bahwa pirolisis dari biomassa *Chlorella vulgaris* akan mengalami tiga tahapan yaitu, pemanasan pada suhu ruang sampai dengan 180°C pada tahap ini uap akan dibebaskan dari metrik karbon dan akan mengalami kehilangan massa sebesar 6.87%. pada tahap yang kedua pada suhu 185-596°C terjadi devolatilisasi dan pirolisis, pada tahap ini kehilangan berat terlihat secara jelas dibandingkan dengan tahap pertama dan reaksi didapatkan dengan kenaikan kecepatan dengan suhu maksimum adalah 307°C, pada tahap ini biomassa akan mengalami kehilangan massa sebesar 55%. Pada tahapan yang ke tiga dengan suhu 600-800°C material arang padat

terjadi secara pelan dengan degradasi konstan setelah proses devolatisasi selesai.

Pirolisis dengan menggunakan temperature dibawah 400°C atau dengan menggunakan laju pemanasan rendah dapat menghasilkan arang dalam jumlah yang banyak. Laju pemanasan yang lebih rendah dan waktu penahanan yang lebih lama juga dapat menimbulkan reaksi pemecahan kedua yang memberikan efek kepada propertis Bio-oil. Pada temperatur lebih besar dari 700°C proses pirolisis menghasilkan produk gas dan hasil minyak yang sedikit. Temperatur dengan hasil minyak yang banyak dapat didapatkan dari jenis spesies terhadap komposisi kimia mikroalga (Zainan *et al.* 2018). Adapun Hasil dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan menunjukan bahwa hasil terbanyak dalam produksi *bio-oil* adalah pada temperature yang berkisar antara 400-500°C (Zainan *et al.*, 2018; Pan *et al.*, 2010; Zeng *et al.*, 2013). Berdasarkan uraian diatas pengarang dengan menggunakan suhu 500°C pada biomassa *Chlorella vulgaris* telah mampu menghasilkan banyak produk selain sumber karbon, oleh karena itu untuk penelitian kedepanya yang mengacu pada penelitian ini adalah bahwa residu proses pirolisis pada suhu 500°C memiliki potensi untuk dijadikan karbon aktif.

5.3 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Rendemen Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Hasil dari proses karbonisasi pada umumnya merupakan arang dengan porositas dan luas permukaan kecil karena masih diselimuti dengan deposit hidrokarbon sehingga memiliki daya serap yang kurang optimal. Oleh karena itu arang yang didapatkan setelah proses karbonisasi akan ditingkatkan mutunya melalui proses aktivasi untuk menciptakan pori pada permukaan karbon aktif. Diantara parameter penting dalam pembuatan karbon aktif adalah rendemen karbon aktif yang dihasilkan setelah proses aktivasi. Perhitungan rendemen karbon aktif mikroalga ditujukan untuk mengetahui besarnya rendemen karbon aktif yang dihasilkan setelah proses aktivasi arang mikroalga *Chlorella vulgaris*. Adapun hasil rendemen yang diperoleh disajikan pada gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1. Grafik nilai rendemen arang aktif mikroalga setelah proses aktivasi

Berdasarkan hasil yang diperoleh, didapatkan nilai rendemen dari yang terbesar 66.51% sampai yang terkecil adalah 19.28%. Rendemen terendah diperoleh dengan menggunakan aktivator H₃PO₄ dengan konsentrasi 50% sebesar 19.28% dan rendemen tertinggi diperoleh dengan menggunakan aktivator ZnCl₂ dengan konsentrasi 50% sebesar 66.51%. Hasil analisa sidik ragam menggunakan ANOVA terhadap parameter rendemen yang terlampir pada lampiran 3.1 memaparkan bahwa jenis dan konsentrasi aktivator memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai rendemen. Analisis uji lanjut Duncan menunjukkan jenis dan konsentrasi aktivator memberikan pengaruh signifikan terhadap rendemen. Hasil uji lanjut Duncan akibat perlakuan jenis aktivator dan konsentrasi aktivator disajikan dalam tabel berikut.

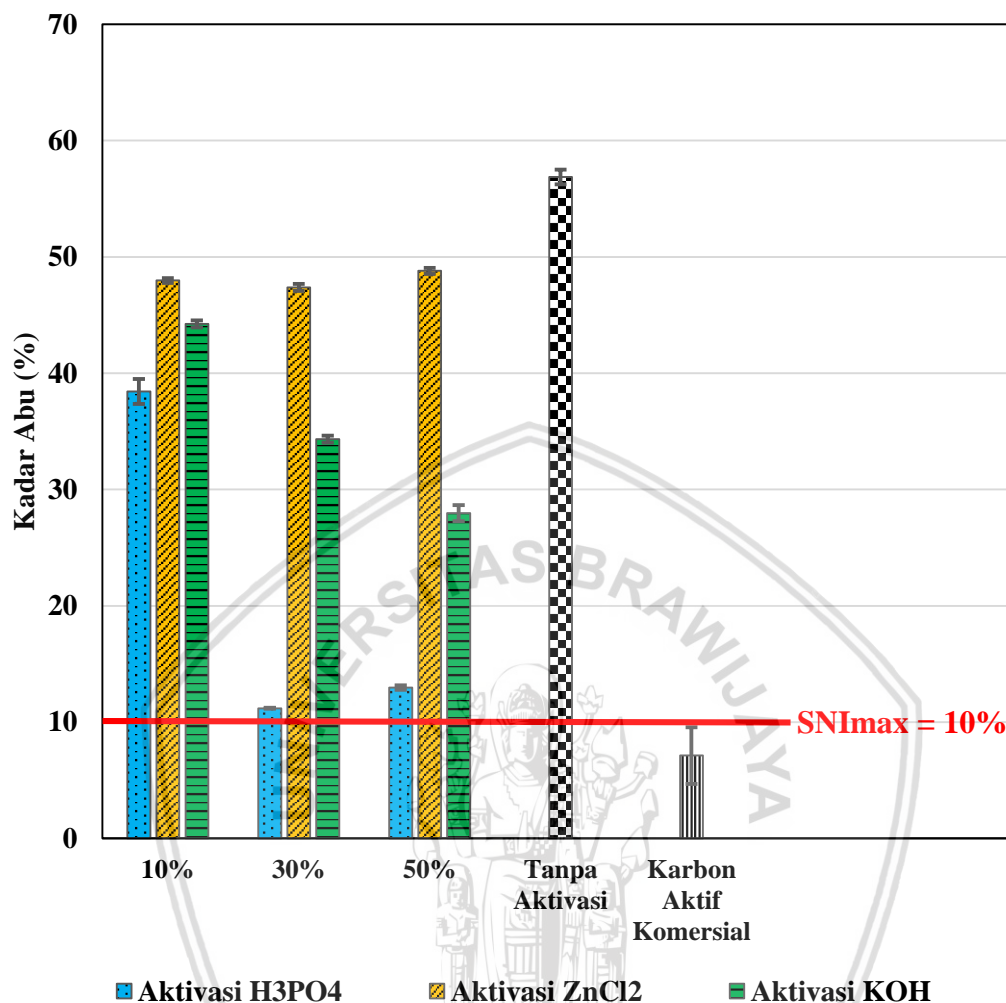
Tabel 5.3. Rerata nilai rendemen berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator.

Aktivator	Konsentrasi (%)	Rendemen (%)
ZnCl ₂	10%	52.1567 ^e
	30%	59.1833 ^f
	50%	66.5100 ^g
KOH	10%	48.6400 ^d
	30%	39.6867 ^c
	50%	27.5967 ^b
H ₃ PO ₄	10%	46.7667 ^d
	30%	19.1900 ^a
	50%	19.2833 ^a

Berdasarkan tabel 5.3 dapat diketahui bahwa penggunaan aktivator agent KOH dan H₃PO₄ dengan konsentrasi yang semakin meningkat cenderung menurunkan rendemen karbon aktif yang didapatkan, hal ini karena dengan komposisi yang dimiliki oleh arang mikroalga dapat bereaksi dengan aktivator agen asam maupun basa sehingga berakibat pada penurunan jumlah rendemen yang dihasilkan. Berbeda dengan penggunaan aktivator agent ZnCl₂, didapati bahwa semakin naiknya konsentrasi aktivator yang digunakan dalam proses aktivasi cenderung meningkatkan rendemen yang dihasilkan, hal ini diduga karena komposisi yang terdapat dalam arang mikroalga tidak terlalu bereaksi secara optimal dengan aktivator ZnCl₂ sehingga beberapa residu masih tertinggal dan membuat rendemennya menjadi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan aktivaor asam maupun basa.

5.4 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Kadar Abu Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Analisis kadar abu pada karbon aktif bertujuan untuk mengetahui kandungan oksida logam didalam karbon aktif. Kadar abu diindikasikan sebagai sisa mineral yang tidak menguap (non volatil) yang masih tertinggal selama proses karbonisasi. Nilai kadar abu dari karbon aktif mikroalga setelah proses aktivasi disajikan pada gambar 5.2



Gambar 5.2. Grafik nilai kadar abu karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris*

Gambar 5.2 menunjukkan rerata kadar abu hasil aktivasi kimia berbantuan iradiasi gelombang mikro. Kadar abu hasil aktivasi dengan menggunakan aktivator H₃PO₄ berkisar antara 11.19 – 38.44%, aktivasi menggunakan ZnCl₂ berkisar antara 47.38- 48.79%, dan hasil aktivasi menggunakan KOH berkisar antara 27.98-44.23%. Kadar abu terbesar diperoleh pada perlakuan dengan menggunakan aktivator ZnCl₂ pada konsentrasi 50% dengan nilai kadar abu 48.79% dan kadar abu yang paling rendah diperoleh pada perlakuan menggunakan aktivator H₃PO₄ pada konsentrasi 30% dengan nilai kadar abu 12.98%. Dari hasil kadar abu yang diperoleh dapat diketahui bahwa, kadar abu berbanding lurus dengan rendemen karbon aktif yang dihasilkan, semakin

banyak rendemen yang dihasilkan ternyata akan menyebabkan kadar abunya semakin meningkat. Meski begitu nilai kadar abu karbon aktif hasil aktivasi masih lebih kecil dibandingkan dengan sample tanpa perlakuan aktivasi yang mencapai nilai 56.87%. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa proses aktivasi yang telah dilakukan mampu menurunkan kadar abu karbon aktif mikroalga walaupun belum terlalu signifikan dan dapat mencapai SNI yang telah ditetapkan, yaitu kadar abu maksimal 10%.

Hasil analisa sidik ragam menggunakan ANOVA terhadap parameter rendemen yang terlampir pada lampiran **3.2** memaparkan bahwa jenis dan konsentrasi aktivator memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai kadar abu yang dihasilkan. Analisis uji lanjut Duncan menunjukkan jenis dan konsentrasi aktivator memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar abu. Hasil uji lanjut Duncan akibat perlakuan jenis aktivator dan konsentrasi aktivator disajikan dalam tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4. Rerata nilai kadar abu berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator

Aktivator	Konsentrasi (%)	Kadar abu (%)
ZnCl ₂	10%	47.9700 ^g
	30%	47.3833 ^g
	50%	48.7967 ^h
KOH	10%	44.2300 ^f
	30%	34.3300 ^d
	50%	27.9800 ^c
H ₃ PO ₄	10%	38.4367 ^e
	30%	11.1900 ^a
	50%	12.9800 ^b
Tanpa Perlakuan	-	56.8700 ⁱ

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan aktivator ZnCl₂ dapat memberikan hasil kadar abu yang lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan aktivator asam maupun basa. Hal ini terjadi karena selama proses aktivasi komponen-komponen selain karbon yang terdapat pada arang mikroalga bereaksi dengan aktivator yang digunakan, sehingga dapat mengurangi kadar abu yang terdapat

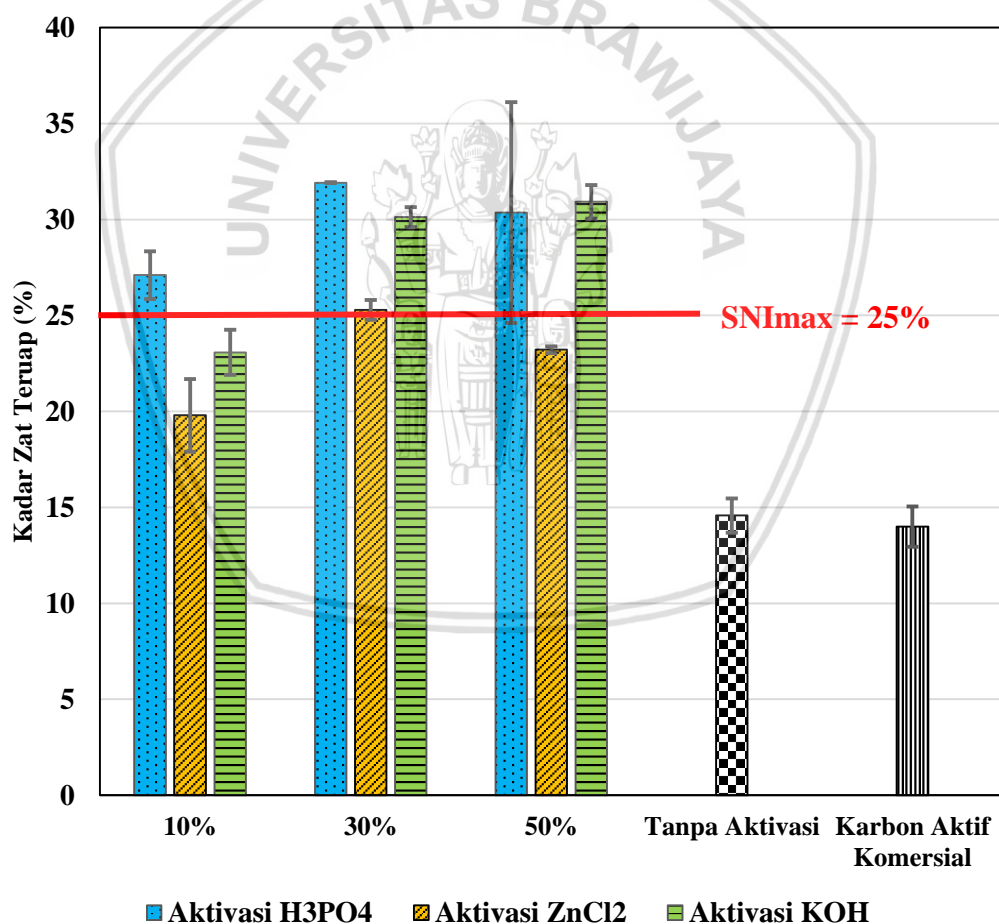
pada karbon aktif, dimana kadar abu disini merupakan garam-garam mineral dan unsur logam yang masih terdapat dalam arang mikroalga setelah proses karbonisasi. Sedangkan pada aktivator basa KOH, nilai kadar abu juga ditemukan lebih tinggi daripada menggunakan aktivator asam, hal ini diduga selama terjadinya pencucian karbon aktif dengan menggunakan HCL 1 M memicu terbentuknya garam mineral akibat reaksi asam dan basa kuat yang menghasilkan garam dan terbawa sampai proses pengeringan hal ini diindikasikan dari air filtrat yang menimbulkan gumpalan berwarna putih pada tahapan awal pencucian. Kandungan kadar abu yang relatif banyak tersebut juga diduga selain karena komposisi awal bahan baku juga adalah karena adanya kontak dengan udara mengakibatkan proses pengarangan yang tidak sempurna dan menyebabkan terbentuknya abu dalam jumlah yang lebih besar. Kadar abu pada karbon aktif ditentukan dari reaksi oksidasi yang menyebabkan daya adsorpsinya menurun, karena pori arang aktif tertutup oleh berbagai mineral seperti Na, Ca, K, Mg yang masih menempel pada permukaan arang aktif tersebut. Tingginya kadar abu yang dihasilkan dari penelitian ini diduga karena proses karbonisasi dan proses aktivasi yang tidak menghadirkan gas inert sebagai zat penghambat terjadinya reaksi oksidasi, sehingga kehadiran udara selama proses karbonisasi tidak bisa dihindarkan sehingga menunjang terjadinya reaksi pembakaran sempurna dan menyebabkan kadar abunya menjadi naik. Berdasarkan kepada pengujian kadar abu, apabila dihubungkan dengan pembahasan pada rendemen, akan didapatkan bahwa dengan rendemen yang semakin tinggi maka akan menyebabkan kadar apunya juga akan meningkat pula, hal ini karena residu mineral yang masih terdapat dalam arang hasil aktivasi yang membuat rendemennya semakin tinggi, tapi di sisi lain juga akan menyebabkan kadar abunya mengalami kenaikan.

Kehadiran abu yang merupakan hasil oksidasi komponen yang terdapat dalam karbon aktif dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori karbon aktif dan ini akan mempengaruhi luas permukaan karbon aktif (Suhendrawati dkk., 2013). Tingginya nilai kadar abu dalam penelitian ini karena biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris* yang digunakan sebagai bahan baku karbon aktif tidak hanya mengandung unsur karbon tetapi juga mengandung unsur mineral berdasarkan SEM-EDX. Sebagian mineral telah hilang selama terjadinya proses karbonisasi dan aktivasi kimia, tetapi sebagian yang lain diperkirakan masih tersisa dalam

komponen karbon aktif. Kandungan kadar abu dari arang aktif sangat berpengaruh terhadap karbon aktif yang didapatkan.

5.5 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Kadar Zat Teruap Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Kadar zat teruap pada karbon aktif mengindikasikan penguapan unsur dan senyawa non karbon. Kadar zat yang teruap merupakan hasil dekomposisi unsur-unsur penyusun karbon aktif akibat proses pemanasan selama proses karbonisasi dan aktivasi. Dari gambar 5.3 berikut ini dapat dilihat persentase kadar zat teruap dari karbon aktif mikroalga.



Gambar 5.3. Grafik nilai kadar zat teruap karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris*

Gambar 5.3 menunjukkan rerata kadar zat teruap karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris*. Kadar zat teruap karbon aktif hasil aktivasi dengan menggunakan aktivator H_3PO_4 berkisar antara 27.10 – 30.36%, aktivasi menggunakan ZnCl_2 berkisar antara 19.79 – 23.21%, dan hasil aktivasi menggunakan KOH berkisar antara 27.10 – 30.92%. Kadar zat teruap terbesar diperoleh pada perlakuan dengan menggunakan aktivator H_3PO_4 pada konsentrasi 30% dengan nilai kadar zat teruap sebesar 31.92% dan kadar zat teruap yang paling rendah diperoleh dengan menggunakan aktivator ZnCl_2 pada konsentrasi 10% dengan nilai 19.79%.

Hasil analisa sidik ragam menggunakan ANOVA terhadap parameter rendemen yang terlampir pada lampiran 3.3 yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis dan konsentrasi aktivator terhadap kadar zat teruap memaparkan bahwa jenis dan konsentrasi aktivator memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai kadar zat teruap yang dihasilkan. Analisis uji lanjut Duncan menunjukkan jenis dan konsentrasi aktivator memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar zat teruap. Hasil uji lanjut Duncan akibat perlakuan jenis aktivator dan konsentrasi aktivator disajikan dalam tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5. Rerata nilai kadar zat teruap berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator.

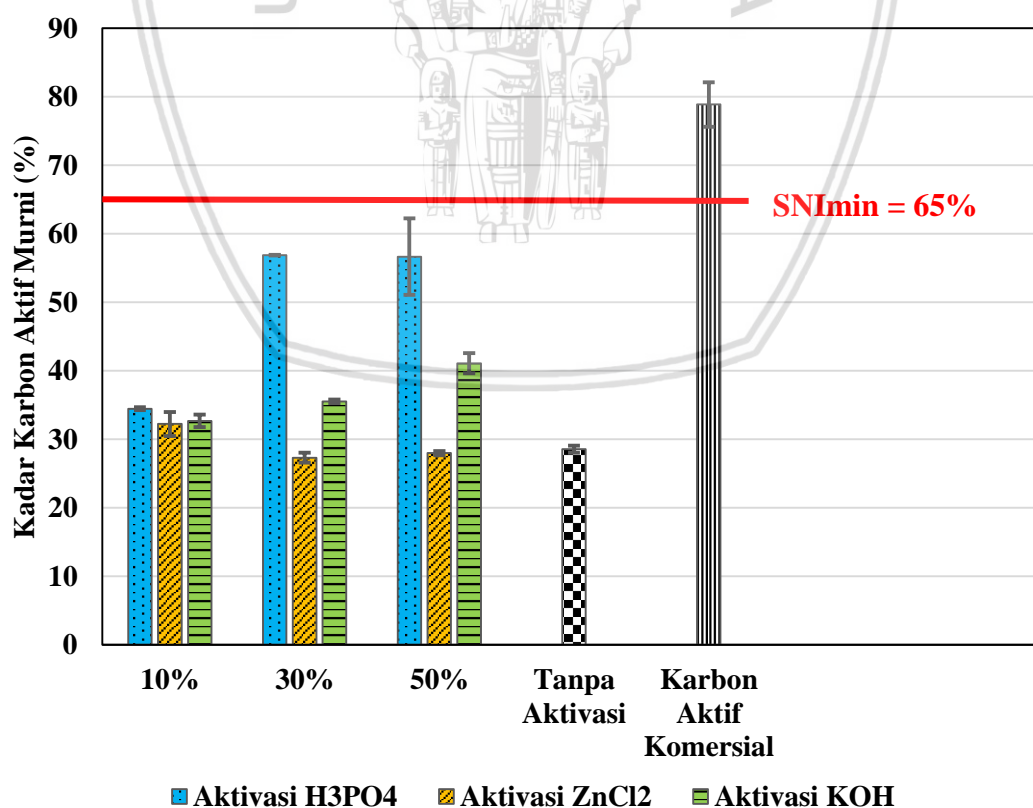
Aktivator	Konsentrasi (%)	Kadar zat teruap (%)
ZnCl_2	10%	19.7933 ^b
	30%	25.2933 ^{cd}
	50%	23.2133 ^c
KOH	10%	23.0800 ^c
	30%	30.1300 ^{ef}
	50%	30.9233 ^f
H_3PO_4	10%	27.1033 ^{de}
	30%	31.9133 ^f
	50%	30.3600 ^f
Tanpa Perlakuan	-	14.5700 ^a

Berdasarkan tabel 5.5 diketahui bahwa penggunaan aktivator ZnCl_2 pada konsentrasi 10% memberikan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan

konsentrasi 30 dan 50%, begitu juga pada aktivator agent KOH dan H_3PO_4 dengan naiknya konsentrasi maka kadar zat teruapnya menjadi lebih tinggi. Dari hasil yang didapatkan diketahui aktivator H_3PO_4 memberikan hasil kadar zat teruap yang lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan aktivator $ZnCl_2$ dan KOH. Nilai kadar zat teruap yang diperoleh dari semua perlakuan secara umum lebih besar dibandingkan dengan arang mikroalga tanpa perlakuan aktivasi, hal ini diduga karena setelah terjadinya proses aktivasi terbentuk mikropori pada permukaan karbon aktif dan mikropori yang dihasilkan ditempati oleh zat volatil sehingga membuat kadar zat teruap dari karbon aktif hasil aktivasi semakin meningkat.

5.6 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Kadar Karbon Aktif Murni Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Kadar karbon aktif murni merupakan kadar karbon yang terikat didalam karbon aktif selain fraksi zat menguap dan kadar abu. Berdasarkan data hasil pengamatan diperoleh kandungan kadar aktif sesuai gambar berikut.



Gambar 5.4. Grafik nilai kadar karbon aktif murni mikroalga *chlorella vulgaris*

Gambar 5.4 menunjukkan rerata kadar karbon aktif murni mikroalga *Chlorella vulgaris*. Kadar karbon aktif murni hasil aktivasi dengan menggunakan aktivator H_3PO_4 berkisar antara 34.46 % – 56.66%, aktivasi menggunakan ZnCl_2 berkisar antara 27.99 % – 32.24%, dan hasil aktivasi menggunakan KOH berkisar antara 32.69%– 41.10%. Kadar karbon aktif murni terbesar diperoleh pada perlakuan dengan menggunakan aktivator agent H_3PO_4 pada konsentrasi 50% dengan nilai kadar karbon aktif murni sebesar 56.66% dan kadar karbon aktif murni paling rendah didapatkan pada perlakuan menggunakan aktivator ZnCl_2 pada konsentrasi 30% dengan nilai 27.32%. Dari data yang diperoleh, diketahui bahwa secara umum aktivasi yang dilakukan mampu menaikkan kandungan kadar karbon aktif murni dibandingkan dengan arang mikroalga tanpa perlakuan, kecuali pada perlakuan aktivasi dengan menggunakan ZnCl_2 pada konsentrasi 30 dan 50% didapatkan kadar karbon aktif murni yang lebih kecil, hal ini diduga karena adanya kandungan ZnCl_2 dalam karbon aktif yang dihasilkan sehingga menurunkan kandungan karbon pada satu gram sample pengujian. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini masih berada dibawah SNI dan karbon aktif komersial dikarenakan bahan baku utama yang minim kandungan unsur karbon dan kandungan zat pengotor yang terdapat didalamnya.

Hasil analisa sidik ragam menggunakan ANOVA terhadap parameter rendemen yang terlampir pada lampiran 3.4 yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis dan konsentrasi aktivator terhadap kadar karbon terikat memaparkan bahwa jenis dan konsentrasi aktivator memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai kadar karbon terikat yang dihasilkan. Analisis uji lanjut Duncan menunjukkan jenis dan konsentrasi aktivator memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar karbon terikat. Hasil uji lanjut Duncan akibat perlakuan jenis aktivator dan konsentrasi aktivator disajikan dalam tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6. Rerata nilai kadar karbon aktif murni berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator.

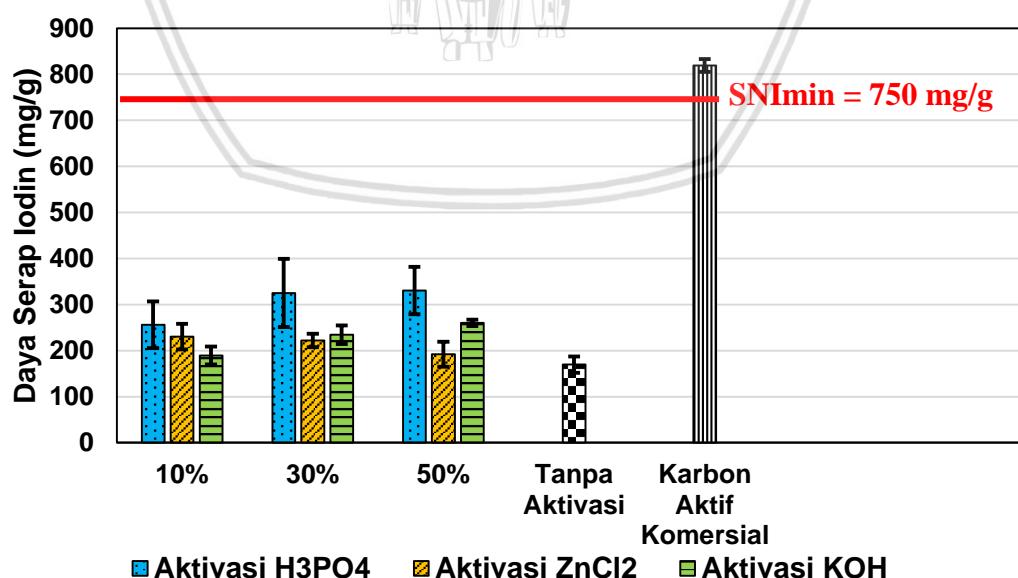
Aktivator	Konsentrasi (%)	Kadar karbon aktif murni (%)
ZnCl ₂	10%	32.2367 ^b
	30%	27.3233 ^a
	50%	27.9933 ^a
KOH	10%	32.6933 ^b
	30%	35.5433 ^b
	50%	41.1000 ^c
H ₃ PO ₄	10%	34.4633 ^b
	30%	56.8933 ^d
	50%	56.6633 ^d
Tanpa Perlakuan	-	28.5533 ^a

Tabel 5.6 menunjukkan penggunaan aktivator ZnCl₂ pada konsentrasi 10% memberikan hasil lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 30 dan 50%, dengan semakin besarnya konsentrasi ZnCl₂ justru menurunkan kadar karbon aktif murni, hal ini dikarenakan pada pengujian kadar abu dan kadar zat teruap pada sampel karbon aktif dengan menggunakan aktivator ZnCl₂ menunjukkan nilai kadar abu dan kadar zat teruap yang lebih besar dibandingkan dengan aktivator asam maupun basa, dan diketahui nilai kadar abu dan kadar zat teruap juga meningkat dengan meningkatnya konsentrasi aktivator ZnCl₂, hal inilah yang menyebabkan nilai kadar karbon aktif murninya turun dibandingkan dengan menggunakan aktivator asam maupun basa, karena semakin banyak kandungan abu dan zat teruap akan menyebabkan kandungan karbon murninya semakin menurun. Pada aktivasi dengan menggunakan aktivator KOH didapatkan bahwa pada konsentrasi 10% dan 30% tidak menunjukkan kenaikan yang besar dibandingkan dengan konsentrasi 50%, semakin bertambahnya konsentrasi KOH yang digunakan dapat memperbesar kadar karbon aktif murni yang dihasilkan. Sedangkan aktivator H₃PO₄ konsentrasi 10% memberikan hasil karbon aktif murni yang lebih kecil dibandingkan konsentrasi 30% dan 50%, dengan semakin besarnya konsentrasi H₃PO₄ dapat meningkatkan kandungan kadar karbon aktif murni. Menurut Siregar dkk., (2015) kandungan karbon aktif murni dipengaruhi

oleh kadar abu, kadar zat teruap dan adanya senyawa hidrokarbon yang masih menempel pada permukaan karbon aktif. Semakin naiknya konsentrasi aktivator asam dan basa dapat menyebabkan kenaikan kandungan karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris* dikarenakan kedua aktivator ini lebih reaktif atau kemampuan melarutkan terhadap kandungan selain karbon pada arang mikroalga (Ramdani, 2016_a ; Ramdani, 2016_b). Tingginya kadar karbon terikat menunjukkan bahwa fraksi karbon yang terikat dalam karbon aktif yang dihasilkan dari proses aktivasi semakin tinggi.

5.7 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Daya Serap Larutan Iodin Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Pengujian daya serap iodin bertujuan untuk mengetahui kemampuan karbon aktif yang dihasilkan dalam melakukan penyerapan terhadap zat warna dengan ukuran molekul lebih kecil dari 10 Å atau 1 nm. Kereaktifan arang aktif dapat dilihat dari kemampuan mengadsorpsi substrat, daya adsorpsi tersebut dapat menunjukkan seberapa besar adsorben dapat mengadsorpsi iodin, semakin besar nilai angka iodin maka semakin besar daya adsorpsinya. Berdasarkan hasil pengujian daya serap Iodin terhadap karbon aktif diperoleh hasil seperti pada gambar 5.5.



Gambar 5.5. Grafik nilai daya serap larutan iodin karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris*

Gambar 5.5 menunjukkan rerata daya serap iodine karbon aktif mikroalga *Chlorella vulgaris*. Daya serap larutan iodine karbon aktif hasil aktivasi dengan menggunakan aktivator H_3PO_4 berkisar antara 256.15 – 325.17 mg/g, aktivasi menggunakan ZnCl_2 berkisar antara 192.09 – 230.31 mg/g, dan hasil aktivasi menggunakan KOH berkisar antara 189.46 – 260.23 mg/g. Secara umum aktivasi yang telah dilakukan mampu meningkatkan daya serap karbon aktif mikroalga terhadap larutan iodine. Hasil daya serap larutan iodine terbesar diperoleh pada perlakuan dengan menggunakan aktivator H_3PO_4 pada konsentrasi 30% dengan nilai daya serap terhadap larutan iodine sebesar 325.17 mg/g. Nilai tertinggi yang diperoleh dari perlakuan ini masih berada dibawah SNI yang telah ditentukan yaitu sebesar 750 mg/g dan karbon aktif komersial merk haycarb dengan nilai mencapai 819.26 mg/g. Hasil analisa sidik ragam ANOVA yang terlampir pada lampiran 3.5 menunjukkan bahwa penggunaan jenis aktivator memberikan pengaruh signifikan ($p < 0,05$), namun konsentrasi aktivator dan interaksi antara keduanya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap daya serap iodine. Hasil analisis lanjut menunjukkan jenis aktivator ZnCl_2 dan H_3PO_4 memiliki perbedaan yang sangat signifikan, sedangkan aktivator ZnCl_2 dan KOH tidak memberikan pengaruh signifikan. Hasil uji lanjut Duncan akibat perlakuan jenis aktivator dan konsentrasi aktivator disajikan dalam tabel 5.7. berikut ini.

Tabel 5.7. Rerata nilai daya serap terhadap larutan iodine karbon aktif mikroalga berdasarkan jenis dan konsentrasi aktivator.

Aktivator	Konsentrasi (%)	Daya serap larutan iodine (mg/g)
ZnCl_2	10%	230.3100 ^{bc}
	30%	222.2267 ^{abc}
	50%	192.0933 ^{ab}
KOH	10%	189.4567 ^{ab}
	30%	234.3933 ^{bc}
	50%	260.2367 ^c
H_3PO_4	10%	256.1500 ^c
	30%	325.1667 ^d
	50%	330.3833 ^d
Tanpa Aktivasi	-	169.7600 ^a

Dari tabel 5.7 dapat diketahui penggunaan aktivator ZnCl_2 pada konsentrasi yang meningkat cenderung mengalami penurunan daya serap iodine. Pada aktivasi dengan menggunakan aktivator KOH dan H_3PO_4 menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi aktivator menyebabkan kenaikan pada daya serap larutan iodine karbon aktif. Tinggi rendahnya daya serap terhadap iodine menunjukkan kandungan karbon dan jumlah pori karbon aktif yang terbentuk selama proses aktivasi. Semakin besar daya serap iodine mengindikasikan semakin banyaknya pori yang terbentuk atau dengan kata lain semakin besar luas permukaan yang terbentuk selama proses aktivasi sehingga memiliki daya serap yang lebih besar. Daya serap arang aktif pada umumnya dipengaruhi oleh sifat arang aktif, sifat larutan atau komponen yang akan diserap dan sistem kontak terhadap permukaan arang aktif. Rendahnya daya serap terhadap iodine secara umum disebabkan oleh kerusakan atau erosi permukaan pori karbon aktif, namun rendahnya daya serap iodine dalam penelitian ini diduga disebabkan banyaknya zat pengotor yang masih tersisa setelah aktivasi yang menutupi pori-pori karbon aktif hingga mempengaruhi kemampuan karbon aktif dalam menyerap iodine.

5.8 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Luas Permukaan BET Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Pengujian luas permukaan BET dilakukan terhadap sample dengan daya serap iodine terbaik dari setiap aktivator yang diberikan, yaitu pada perlakuan ZnCl_2 10%, H_3PO_4 50%, KOH 50%. Dari hasil pengujian dengan menggunakan *Surface Area Analyzer* diketahui bahwa luas permukaan BET dari ke tiga sample tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 5.8. Karakteristik karbon aktif mikroalga berdasarkan luas BET, diameter pori, dan volume pori.

Perlakuan	Luas BET (m^2/g)	Diameter Pori (nm)	T Plote	
			Micropore volume (cc/g)	Micropore area (m^2/g)
ZnCl_2 10%	115.352	19.85	0.000	0.000
H_3PO_4 50%	109.273	5.50	0.024	42.956
KOH 50%	34.933	46.59	0.000	0.000

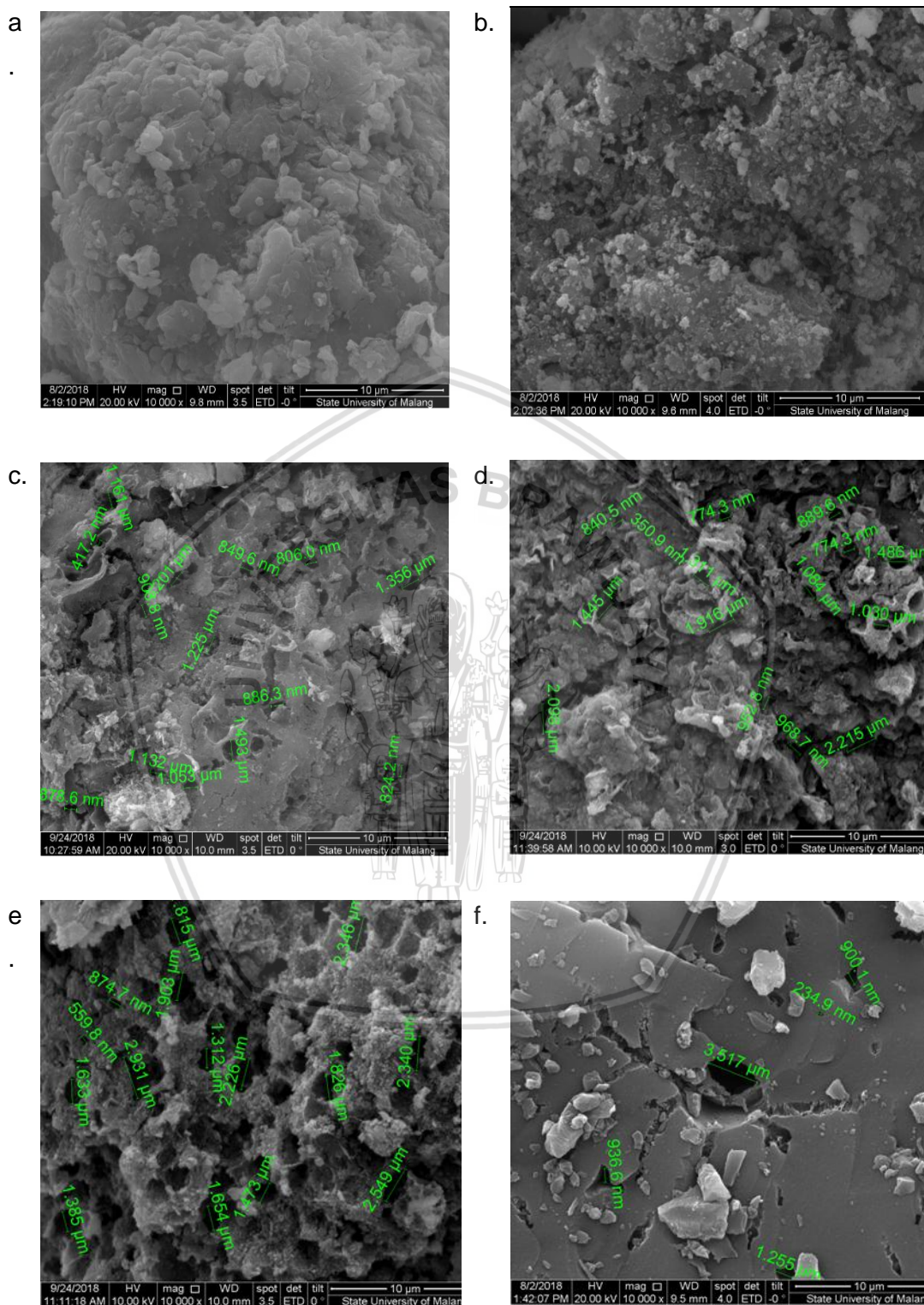
Dari tabel 5.8 diketahui bahwa luas BET hasil aktivasi dengan menggunakan aktivator ZnCl_2 10% dan H_3PO_4 50% menghasilkan pori dengan diameter yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan aktivator KOH, oleh karena itu luas permukaan BET karbon aktif dengan menggunakan aktivator ZnCl_2 dan H_3PO_4 lebih besar dibandingkan dengan KOH. Luas permukaan ini juga memberikan pengaruh yang besar kepada daya adsorpsi yang dimiliki oleh karbon aktif, dimana semakin besar luas permukaan karbon aktif akan menyebabkan daya serapnya meningkat pula. Apabila dihubungkan dengan pembahasan pada daya serap iodine pada pembahasan sebelumnya, dapat diketahui urutan daya serap iodine paling tinggi sampai yang paling rendah dalam penelitian ini adalah ZnCl_2 10%, KOH 50%, H_3PO_4 50% dengan daya serap iodine masing-masing adalah 230.3100 mg/g, 260.2367 mg/g, dan 330.3833 mg/g. namun pada pengujian luas permukaan dengan menggunakan analisis BET pada tabel 5.8 diketahui bahwa urutan luas permukaan terbesar sampai terkecil adalah ZnCl_2 10%, H_3PO_4 50%, KOH 50%. Adanya perbedaan ini diduga karena residu dari aktivator agen maupun kandungan mineral juga turut dimaknai sebagai luas permukaan karbon aktif, sehingga karbon aktif hasil aktivasi dengan menggunakan ZnCl_2 juga memiliki luas permukaan yang relatif besar.

Hasil luas permukaan BET dalam penelitian ini lebih kecil dibandingkan dengan hasil dari penelitian Lee *et al.* (2017) tentang pembuatan arang aktif dari mikroalga menggunakan pemanasan konvensional dengan aliran nitrogen dan aktivator KOH dan aktivasi dengan menggunakan KOH pada suhu 700-800°C mendapatkan luas permukaan yang cukup tinggi dibandingkan pada penelitian ini yaitu luas BET mencapai 1210 - 2433 m²/g. Dengan naiknya konsentrasi KOH, pembesaran pori diamati dari 0.25 µm sampai dengan 2.5 µm. Pembentukan pori pada permukaan karbon mungkin disebabkan karena proses evaporasi pada aktivator agen (KOH). Selain itu, Chang *et al.* (2015) juga melakukan penelitian terkait pembuatan karbon aktif dari residu mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan menggunakan suhu pemanasan 800-950°C dengan aliran gas inert dan penahanan selama 30 menit, dari penelitian ini didapatkan hasil luas BET berkisar antara 310.44- 840.49 m²/g dengan semakin tinggi suhu yang digunakan akan semakin memperbesar luas permukaan BET karbon aktif yang dihasilkan. Perbedaan luas BET dari kedua penelitian tersebut dengan penelitian ini dapat

dianalisis sebagai berikut. Pertama adalah komposisi dari mikroalga yang digunakan memungkinkan terjadi perbedaan, kemudian faktor kedua adalah proses aktivasi, dimana gas inert seperti CO_2 maupun N_2 mutlak harus diberikan dalam proses pembuatan karbon aktif dari biomassa *Chlorella vulgaris* dikarenakan biomassa ini memiliki perbedaan struktur dengan bahan baku karbon aktif pada umumnya yaitu batok kelapa maupun kayu dimana mikroalga tidak memiliki lignin, tidak seperti biomassa kayu (Zainan *et al.*, 2018). Bertemunya oksigen pada proses karbonisasi biomassa akan menyebabkan terjadinya reaksi pembakaran sehingga dapat menimbulkan kadar abu dalam jumlah yang relative banyak dan merusak struktur karbon yang dihasilkan, sehingga akan berakibat pada luas permukaan BET yang semakin kecil dan daya serap yang kurang optimal.

5.9 Pengaruh Variasi Aktivator dan Iradiasi Gelombang Mikro terhadap Struktur Pori dan Komposisi Unsur Karbon Aktif Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Struktur pori sangat berhubungan erat dengan luas permukaan, dimana semakin banyak pori-pori karbon aktif akan memberikan dampak kepada luas permukaan karbon aktif dan bertambah besarnya kecepatan adsorpsi. Pencitraan SEM difokuskan pada sample dengan daya serap iodin tertinggi dari setiap aktivator yaitu Karbon aktif hasil aktivasi dengan ZnCl_2 10%, H_3PO_4 50%, KOH 50% dibandingkan dengan serbuk mikroalga kering sebagai bahan baku, arang mikroalga dan karbon aktif komersial. Struktur pori hasil pencitraan menggunakan SEM dengan perbesaran 10.000x disajikan pada gambar 5.6.



Gambar 5.6. Citra SEM EDX dengan perbesaran 10.000x ;**a.** Serbuk mikroalga kering; **b.** Arang mikroalga; **c.**Karbon aktif hasil aktivasi dengan ZnCl_2 10%; **d.** Karbon aktif hasil aktivasi dengan H_3PO_4 50%; **e.** Karbon aktif hasil aktivasi

dengan KOH 50%; f. Karbon aktif komersial dari tempurung kelapa.

Gambar 5.6 menunjukkan antara bahan baku serbuk mikroalga kering dan arang hasil karbonisasi menunjukkan perbedaan bentuk dikarenakan terjadinya penguraian selama proses karbonisasi dengan menggunakan suhu 500°C, namun pada permukaan keduanya belum menunjukkan terbentuknya pori. Berbeda dengan arang aktif yang telah melalui proses aktivasi, pada gambar c, d dan e telah menunjukan terbentuknya pori, hal ini menunjukan bahwa proses aktivasi dengan menggunakan aktivator ZnCl_2 , H_3PO_4 , KOH telah mampu menciptakan mikropori dan mesopori pada permukaan karbon aktif dengan ukuran hampir seragam sehingga dapat memperluas permukaannya. Pembentukan pori akan memainkan peranan penting dalam adsorpsi ion secara cepat dalam sebagian besar material (Yoshio *et al.*, 2002 ; Songhun *et al.*, 2000)

Apabila dibandingkan dengan karbon aktif komersial berbahan baku batok kelapa dengan menggunakan aktivasi fisika menggunakan uap, ditemukan pada permukaan karbon aktif mikroalga hasil aktivasi memiliki butiran-butiran kecil yang tersebar hampir pada semua permukaannya, tidak seperti penampakan pada karbon aktif komersial. Secara visual karbon aktif komersial yang berasal dari tempurung kelapa memiliki warna hitam lebih pekat dan tekstur yang lebih halus dibandingkan dengan karbon aktif mikroalga hasil aktivasi.

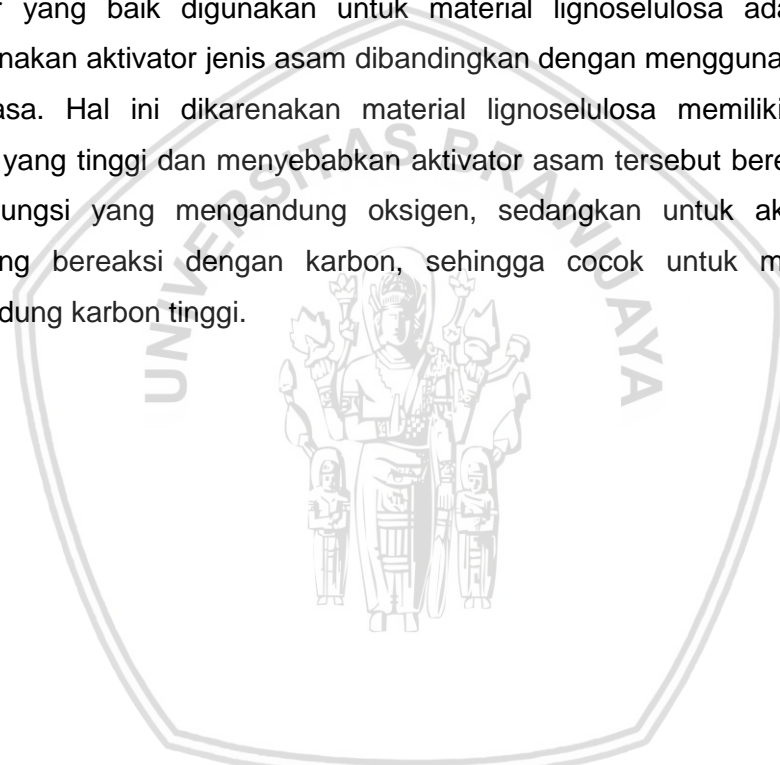
Hal ini dikarenakan komposisi kimia yang antara karbon aktif mikroalga hasil aktivasi dengan karbon aktif komersial. Untuk lebih memperjelas pembahasan, hasil citra yang didapatkan dari enam sample diatas telah diuji komposisi unsurnya menggunakan SEM-EDX dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 5.9. Perbandingan komposisi unsur serbuk mikroalga, arang mikroalga, karbon aktif mikroalga hasil aktivasi, dan karbon komersial

Unsur	Persen berat unsur (Wt%)					
	Serbuk mikroalga	Arang mikroalga	Aktivasi ZnCl ₂ 10%	Aktivasi H ₃ PO ₄ 50%	Aktivasi KOH 50%	Karbon aktif komersial
C	16.09	27.81	23.53	72.31	26.24	87.18
O	25.78	28.54	26.57	19.79	31.42	8.01
Na	15.99	8.42	-	-	-	1.61
Mg	14.24	15.63	5.43	0.21	21.97	0.20
P	0.60	0.59	3.12	-	3.32	-
S	0.58	-	1.00	-	-	-
Cl	23.87	15.55	0.58	-	0.64	0.62
Ca	1.64	2.10	0.69	-	5.26	-
Zr	1.03	1.36	0.88	-	3.59	-
Si	0.18	-	0.50	7.69	2.02	0.38
Zn	-	-	37.69	-	-	-
Au	-	-	-	-	5.61	-

Tabel 5.10 menunjukkan terjadinya perubahan komposisi unsur dari setiap tahapan yang dilakukan, proses karbonisasi telah meningkatkan unsur karbon, namun juga masih mengandung unsur selain karbon dalam jumlah yang cukup banyak. Pada karbon hasil aktivasi dengan menggunakan ZnCl₂ dan KOH menunjukkan hasil karbon yang lebih kecil dibandingkan dengan arang hasil aktivasi, hal ini diduga karena kandungan unsur selain karbon yang masih tersisa setelah proses aktivasi menutupi permukaan karbon sehingga menghasilkan pembacaan unsur karbon yang lebih sedikit pada pengujian SEM-EDX. Kandungan unsur karbon tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan menggunakan aktivator agent H₃PO₄ dengan nilai berat atom sebesar 72.31%. Pada aktivasi dengan menggunakan H₃PO₄ didapati unsur Na, P, Cl, Ca, dan Zr menurun jumlahnya atau bahkan menghilang, dengan ini diketahui bahwa aktivator asam lebih dapat bereaksi dengan arang mikroalga, sehingga menghilangkan kandungan mineral yang terdapat pada arang mikroalga. Apabila dihubungkan dengan pembahasan tentang kadar abu, kadar zat teruap dan daya serap iodin

maka diketahui bahwa, tingginya kadar abu dan zat teruap pada karbon aktif yang diperoleh pada penelitian ini adalah karena banyaknya kandungan unsur selain karbon yang masih tersisa selama proses aktivasi. Daya serap terhadap iodine yang dihasilkan dalam penelitian ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan karbon aktif komersial karena permukaan karbon aktif hasil aktivasi diselubungi unsur selain karbon, sehingga daya serapnya semakin menurun. Hasil dari penelitian ini selaras dengan teori yang dikemukakan oleh Hsu dan Teng (2000), bahwa dalam proses preparasi karbon aktif menggunakan aktivasi kimia, aktivator yang baik digunakan untuk material lignoselulosa adalah dengan menggunakan aktivator jenis asam dibandingkan dengan menggunakan aktivator jenis basa. Hal ini dikarenakan material lignoselulosa memiliki kandungan oksigen yang tinggi dan menyebabkan aktivator asam tersebut bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen, sedangkan untuk aktivator basa cenderung bereaksi dengan karbon, sehingga cocok untuk material yang mengandung karbon tinggi.



VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Aktivasi menggunakan *activator agent* KOH, H₃PO₄, dan ZnCl₂ dengan konsentrasi berbeda disertai iradiasi gelombang mikro memberikan pengaruh terhadap kadar abu, kadar zat teruap, dan kadar karbon aktif murni mikroalga *chlorella vulgaris*. Dengan hasil terbaik untuk parameter kadar abu adalah KOH 50%, H₃PO₄ 30%, ZnCl₂ 30% dengan nilai kadar abu masing-masing 27.98%, 11.19%, 47.38%; hasil terbaik untuk parameter kadar zat teruap adalah KOH 10%, H₃PO₄ 10%, ZnCl₂ 10% dengan nilai kadar zat teruap masing-masing 23.08%, 27.10%, 19.79%; hasil terbaik untuk parameter kadar karbon aktif murni adalah KOH 50%, H₃PO₄ 30%, ZnCl₂ 10% dengan nilai kadar karbon aktif murni masing-masing 41.10%, 56.89%, 32.24%.
2. Aktivasi dengan menggunakan KOH, H₃PO₄, dan ZnCl₂ dengan konsentrasi yang berbeda telah mampu meningkatkan daya serap terhadap larutan iodin dan memperbesar luas permukaan karena terbentuknya pori. Dengan perlakuan terbaik setiap aktivator adalah KOH 50%, H₃PO₄ 50%, dan ZnCl₂ 10% dengan nilai masing-masing 260.23 mg/g, 330.39 mg/g, 230.31 mg/g.
3. Aktivasi dengan menggunakan KOH, H₃PO₄, dan ZnCl₂ dengan konsentrasi yang berbeda telah menciptakan pori pada permukaan karbon, dengan perlakuan terbaik setiap aktivator adalah KOH 50%, H₃PO₄ 50%, dan ZnCl₂ 10% dengan nilai luas permukaan mencapai 34.933 m²/g, 109,273 m²/g, 115,352 m²/g karbon aktif yang dihasilkan masih memiliki kandungan unsur selain karbon yang berasal dari bahan baku mikroalga *chlorella vulgaris* dan residu aktivator.
4. Mikroalga *chlorella vulgaris* dapat digunakan sebagai sumber potensial dalam pembuatan karbon aktif, dengan aktivasi menggunakan H₃PO₄ 50% disertai iradiasi gelombang mikro mampu meningkatkan kandungan unsur karbon hingga 56.89% dan analisis kandungan karbon menggunakan SEM-EDX mencapai 72.31%.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian mulai dari preparasi bahan baku, yaitu mulai dari pengembangbiakan mikroalga dengan perlakuan khusus yang dapat menebalkan dinding sel mikroalga, sehingga akan mampu meningkatkan kandungan unsur karbon hasil aktivasi termasuk juga fase pertumbuhan yang memungkinkan mikroalga memiliki potensi unsur karbon yang paling banyak.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A.A., Ibraheem, I.B.M. 2012. **Microalgae and wastewater treatment**. Journal of Biological Sciences. 19 :257-275.
- Abioye, A.M., Farid. N. 2015. **Recent Development in the Production Activated Carbon Electrodes from Agricultural Waste Biomass for Supercapacitors: A Review**. Renewable and Sustainable Energy. 52 :1282 – 1293.
- Adinata, Mirsa, S. 2013. **Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Karbon Aktif**. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknologi Industri, Surabaya.
- Agusta, D. 2012. **Uji Adsorpsi Gas CO Pada Asap Kendaraan dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa yang Terimpregnasi TiO₂**. Skripsi. Universitas Indonesia, Depok.
- Ahmed, M.J., Theydan, S.K. 2014. **Fluoroquinolones antibiotics adsorption onto microporous activated carbon from lignocellulosic biomass by microwave pyrolysis**. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 45 :219–226.
- Ao, W., Fu, J., Mao, X., Kang, Q., Ran, C., Liu, Y., Gao, Z., Li, J., Liu, G., Dai, J. 2018. **Microwave assisted preparation of activated carbon from biomass: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 92 : 958–979
- Aslan, S., Kapdan, I.K. 2006. **Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae**. Ecological Engineering. 28 :64-70.
- Azmir, J., Zaidul, I., Rahman, M., Sharif, K., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M., Ghafoor, K., Nurulaini, N., Omar, A. 2013. **Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials : a review**. Journal of food Engineering. 117 :426-436.
- Bansal, R. C., Donnet, J.B., Stoekli, F., 1988. **Active carbon**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Basuki, K.T., Setiawan, B., Nurimaniwathy. 2007. **Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ Pada Emisi Gas Buang Menggunakan Arang Aktif Tempurung Kelapa yang Disisipi TiO₂**. *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*, STTN – BATAN, Yogyakarta :55 – 66.
- Brown, M.R., Jeffrey, S.W., Volkman, J.K., Dunstan, G.A. 1997. **Nutritional properties of microalgae for mariculture**. Aquaculture. 151 :315–331.
- Chang, Y.M., Tsai, W.T., Li, M.H. 2015. **Characterization of activated carbon prepared from chlorella-based algal residue**. Bioresource Technology. 184 :344–348.
- Chun, S.E., Whitacre, J.F. 2013. **Rapid carbon activation via microwave irradiation of nongraphitic carbon doped with metallic potassium and tetrahydrofuran (THF)**. Journal of Power Sources. 240 :306-313.

- Demirbas, A., 2010. **Use of algae as biofuel sources**. Energy Conversion and Management. 51 :2738-2749.
- Dutta, R. 2008. **Fundamentals of biochemical engineering**. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Foo, K.Y., Lee, L.K., Hameed, B.H. 2013. **Preparation of banana frond activated carbon by microwave induced activation for the removal of boron and total iron from landfill leachate**. Chemical Engineering Journal. 223 :604-610.
- González-García, P. 2018. **Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 82 :1393–1414.
- Gurten Inal, I.I., Holmes, S., Banford, A., Aktas, Z. 2015. **The performance of supercapacitor electrodes developed from chemically activated carbon produced from waste tea**. Applied Surface Sciences. 357 :696-703.
- Hendra, R. 2008. **Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Indonesia dengan Metode Aktivasi Fisika dan Karakteristiknya**. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Hesas, R.H., Arami-Niya, A., Daud, W.M.A.W., Sahu, J.N. 2013. **Preparation of granular activated carbon from oil palm shell by microwave-induced chemical activation: optimisation using surface response methodology**. Chemical Engineering Research and Design. 91 :2447-245.
- Hesas, R.H., Daud, W.M.A.W., Sahu, J.N., Niya, A.A. 2013. **The effects of a microwave heating method on the production of activated carbon from agricultural waste: a review**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 100 :1-11.
- Hsu, L. Y., Teng, H. 2000. **Influence of different chemical reagent on the preparation of activated carbon from bituminous coal**. Fuel Processing Technology. 64(1-3) :155-166.
- Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M., Darzins, A. 2008. **Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances**. Plant Journal. 54 :621-639.
- Jankowska, H., Swiatkoski, A., Choma, J. 1991. **Active carbon**; Ellis Horwood, West Sussex, England. Journal of Hazardous Material. 289 :18-27.
- Jaya, F.T. 2014. **Adsorpsi Emisi Gas CO, NO, dan NO_x Menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Buah Kakao (Theobroma Cacao L.) Pada Kendaraan Bermotor Roda Empat**. Skripsi. Universitas Hassanuddin. Makassar
- Kim, J., Lingaraju, B.P., Rheume, R., Lee, J.-Y., Siddiqui, K.F. 2010. **Removal of ammonia from wastewater effluent by *Chlorella vulgaris***. Tsinghua Science and Technology. 15 :391-396.

- Koleangan, H.S.J. dan Wuntu, A.D. 2008. **Kajian Stabilitas Termal dan Karakter Kovalen Zat Pengaktif pada Arang Aktif Limbah Gergajian Kayu Meranti.** *Chem. Prog.* 1 :43-46.
- Kumar, M.S., Miao, Z.H., Wyatt, S.K. 2010. **Influence of nutrient loads, feeding frequency and inoculum source on growth of *Chlorella vulgaris* in digested piggery effluent culture medium.** *Bioresource Technology.* 101 :6012 - 6018.
- Kundu, A., Gupta, B.S., Hashim, M.A., Redzwan, G. 2015. **Taguchi optimization approach for production of activated carbon from phosphoric acid impregnated palm kernel shell by microwave heating.** *Journal of Clean Production.* 105 : 420-427.
- Lacerda, D.S., López-Sotelo, J.B., Correa-Guimarães, A., Hernández-Navarro, S., Sánchez-Báscones, M., Navas-Gracia, L.M. 2015. **Rhodamine B removal with activated carbons obtained from lignocellulosic waste.** *Journal of Environmental Management.* 155 :67–76.
- Lee, K.S., Miso, P., Chan, W.P., Jong-Duk, K. 2017. **Sustainable fabrication of nitrogen activated carbon from *Chlorella vulgaris* for energy storage devices.** *Colloids and Surfaces A.* 529 : 102–106.
- Liu, G., Zheng, M., Jiang, X., Jin, R., Zhao, Y., Zhan, J. 2016. **Insights into the emission reductions of multiple unintentional persistent organic pollutants from industrial activities.** *Chemosphere.* 144 :420–424.
- Liau, D., Wu, Z., Ge, X., Cravotto, G., Wub, Z., Yan, Y. 2016. **Comparative study of naphthalene adsorption on activated carbon prepared by microwave-assisted synthesis from different typical coals in Xinjiang.** *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.* 59 :563–568
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S. 2010. **Microalgae for biodiesel production and other applications: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Review.* 14 :217-232.
- Mohamed, A.R., Mohammadi, M., Darzi, G.N. 2010. **Preparation of carbon molecular sieve from lignocellulosic biomass: a review.** *Renewable and Sustainable Energy Review.* 14 :1591–1599.
- Muna, Al Nailil. 2011. **Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dari Batang Pisang sebagai Adsorben untuk Penyerapan Ion Logam Cr (IV) Pada Air Limbah Industri.** FMIPA Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Ncibi, M.C., Ranguin, R., Pintor, M.J., Jeanne-rose, V., Sillanpää, M., Gaspard, S. 2014. **Preparation and characterization of chemically activated carbons derived from Mediterranean *Posidonia oceanica* (L.) fibres.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 109 :205–214.

- Pan, P., Hu, C., Yang, W., Li, Y., Dong, L., Zhu, L., 2010. **The direct pyrolysis and catalytic pyrolysis of Nannochloropsis sp. residue for renewable bio-oils.** Bioresource Technology. 101:4593–4599.
- Ramdani, P. 2016a. **“KARAKTERISTIK ZAT KALIUM HIDROKISDA (KOH) dan Cara Pembuatannya”.** Melalui <http://www.punyawawasan.com/2017/01/karakteristik-zat-kalium-hidrokisda-koh.html>. [4/01/2019].
- Ramdani, P. 2016b. **“KARAKTERISTIK ZAT KALIUM HIDROKISDA (KOH) dan Cara Pembuatannya”.** Melalui <https://www.punyawawasan.com/2016/12/asam-fosfat-h3po4.html#>. [4/01/2019]
- Ramírez-Montoya, L., Hernández-Montoya, V., Montes-Morán, M., Cervantes F.J. 2015. **Correlation between mesopore volume of carbon supports and the immobilization of laccase from Trametes versicolor for the decolorization of Acid Orange.** Journal of Environmental Management. 162 :206–14.
- Riadi, M. 2017. <https://www.kajianpustaka.com/2017/09/karbon-aktif.html>. [21/01/2019]
- Ribas, M., Adebayo, M.A., Prola, L.D.T., Lima, E.C., Cataluña, R., Feris, L.A., Puchana-Rosero, M.J., Machado, F.M., Pavan, F.A., Calvete, T. 2014. **Comparison of a homemade cocoa shell activated carbon with commercial activated carbon for the removal of reactive violet 5 dye from aqueous solutions.** Chemical Engineering Journal. 248 :315-326
- Richmond, Amos. 2004. **Handbook of Microalgae Culture: Biotechnology and Applied Phycology.** Blackwell Science Asia Pty, 550 Swanston Street, Carlton, Victoria 3053, Australia. Blackwell Publishing company.
- Rizzo, A.M., Prussi, M., Bettucci, L., Libelli, I.M., Chiaramonti, D. 2013. **Characterization of microalga Chlorella as a fuel and its thermogravimetric behavior.** Applied Energy. 102 :24–31
- Safitri, P. A. 2016. **Penyerapan Emisi Gas CO Menggunakan Karbon Aktif dari Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) dengan Aktivator ZnCl₂ Pada Kendaraan Bermotor Roda Dua.** Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang
- Sahinkaya, E., Dilek, F.B. 2005. **Biodegradation of 4-chlorophenol by acclimated and unacclimated activated sludge-Evaluation of biokinetic coefficients.** Environmental Reservation. 99 :243-252.
- Saucier, C., Adebayo, M., Lima, E.C., Cataluña, R., Thue, P., Prola, L.D.T., Puchana-Rosero, M.J., Machado, F., Pavan, F., Dotto, D.L. 2015. **Microwaved-assisted activated carbon from cocoa shell as adsorbents for removal of sodium diclofenac and nimesulide from aqueous effluents.** Journal of Hazardous Materials. 289 :18-27.

- Schenk, P.M., Thomas-Hall, S.R., Stephens, E., Marx, U.C., Mussgnug, J.H., Posten, C., Kruse, O., Hankamer, B. 2008. **Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production**. *Bioenergy Research*. 1 :20-43.
- Singh, A., Nigam, P.S., Murphy, J.D. 2011. **Mechanism and challenges in commercialization of algae biofuels**. *Bioresource Technology*. 102 :26-34.
- Siregar, Y.D.I., Rudi, H., Adi, R., Tri, H.L. 2015. **Karakterisasi Karbon Aktif Asal Tumbuhan dan Tulang Hewan Menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrika**. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*. 1(2): 103-116.
- Songhun, Y., Jinwoo, L., Taeghwan, H., Seung, M.O.J. 2000. **Electric double-layer capacitor performance of a new mesoporous carbon**. *Electrochem. Soc.* 147 : 2507.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. 2006. **Commercial applications of microalgae**. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 101 :87-96.
- Suhas, Carrott, P.J.M., Ribeiro Carrott, M.M.L. 2007. **Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: a review**. *Bioresource Technology*. 98 :2301–12.
- Suhendarwati, L., Suharto, B., Susanawati, L.D. 2013. **Pengaruh konsentrasi larutan kalium hidroksida pada abu dasar ampas tebu teraktivasi**. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.
- Veksha, A., Pandya, P., Hill, J.M. 2015. **The removal of methyl orange from aqueous solution by biochar and activated carbon under microwave irradiation and in the presence of hydrogen peroxide**. *J. Environ. Chemical Engineering*. 3 :1452-1458.
- Wang, L., Min, M., Li, Y., Chen, P., Chen, Y., Liu, Y., Wang, Y., Ruan, R. 2010. **Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant**. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 162 :1174-1186.
- Williams, P.J. le B., Laurens, L.M.L. 2010. **Microalgae as biodiesel & biomass feedstocks: review & analysis of the biochemistry, energetics & economics**. *Energy and Environmental Science*. 3 :554-590.
- Yoshio, Y., Osamu, T., Tien, T.L., Hiroaki, H., Soshi, S., Asao, O. 2002. **Electric double layer capacitance performance of porous carbons prepared by defluorination of polytetrafluoroethylene with potassium**. *Electrochem. Solid-State. Lett.* 5. A283.
- Zainan, N. H., Srikanth C. S., Fanghua, L., Sankar, B. 2018. **Quality of bio-oil from catalytic pyrolysis of microalgae *Chlorella vulgaris***. *Fuel*. 223 : 12–19.

Zeng, Y., Zhao, B., Zhu, L., Tong, D., Hu, C.. 2013. **Catalytic pyrolysis of natural algae from water blooms over nickel phosphide for high quality bio-oil production**. RSC Advances. 3:10806.

